

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

Návrh a realizace laboratorního a demonstračního modelu  
CAN bus vozidla Hyundai

Design and Practical Realization of CAN Bus Laboratory and  
Demonstration Model (Based on Hyundai Vehicle components)

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Galuszka, DiS.**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika  
Téma: **Návrh a realizace laboratorního a demonstračního modelu CAN bus vozidla Hyundai**  
**Design and Practical Realization of CAN Bus Laboratory and Demonstration Model (Based on Hyundai Vehicle components)**

Zásady pro vypracování:

1. Dle specifikace vedoucího teoreticky rozeberte funkce a principy vybrané řídicí jednotky a důležitých přídatných komponentů pro pozdější realizaci fyzického modelu.
2. Navrhněte a realizujte laboratorní a demonstrační model CAN bus s využitím řídicí jednotky motoru vozidla Hyundai.
3. Navrhněte zadání laboratorní úlohy s využitím realizovaného modelu.

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

7. května 2013



.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odborné konzultace a rady, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval kolegům v zaměstnání za rady a prostor pro vypracování bakalářské práce a v neposlední řadě i své přítelkyni, za trpělivost a podporu při studiu.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a samotnou realizací funkčního modelu systému řízení moderního vznětového motoru EDC s komunikační sběrnici CAN. Teoretická část poskytuje základní informace o systému řízení EDC, jeho součástech, funkčních principech a závislostech mezi nimi. V praktické části je realizován elektronický model, který umožňuje simulaci vybraných funkcí, a také provádění analýzy a měření sběrnice CAN. V rámci ověření funkčnosti elektronického modelu jsou v závěru vykonána měření, na jejichž základě je zpracován návrh pro zadání laboratorní úlohy.

## **Klíčová slova**

CAN sběrnice, Řídicí jednotka ECU, Realizovaný elektronický model, Systém řízení motoru EDC, měření, Simulace

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is dealing with design and construction of EDC system's functional electronic model with CAN-BUS. The theoretical chapter provides basic informations about EDC control system, his constituent parts, functional principles and their dependences. The practical chapter describes design and construction of electronic model, which supports the simulation of certain EDC control functions and analyzation of CAN-BUS. As a confirmation of electronic model's proper function, the following experiments and measurements are executed, on the base of which the laboratory exercise is proposed.

## **Key words**

CAN-BUS, Control unit, ECU, Constructed electronic model, EDC control system, Measurement, Simulation

## **Seznam použitých symbolů a zkratek:**

A - Ampér, jednotka proudu

ABS - Anti-lock Brake System, protiblokovací systém kol

AFLS - Adaptive Front Light System, systém automatického nastavování světel

APS - Accelerator Position Signal, poloha plynového pedálu

ASR - Anti-Slip Regulation, systém regulace trakce hnacích kol

A/BAG - Airbag

A/CON - Air Condition, systém klimatizace

Atd. - a tak dále

BCM - Body Control Module, elektronická řídicí jednotka komfortního systému

b - bit, základní jednotka kapacity paměti

CAN - Controller Area Network, sériový komunikační protokol

BUS - sběrnice

CAN\_H - CAN High, CAN vedení úrovně HIGH

CAN\_L - CAN Low, CAN vedení úrovně LOW

CCP - Can Communication Protocol, komunikační protokol CAN

CPU - Central Processing Unit, procesor

č. - číslo

ECM - Electronic Control Module, řídicí jednotka

ECU - Electronic Control Unit, elektronická řídicí jednotka

EDC - Electronic Diesel Control, elektronická regulace vznětových motorů

EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, elektricky vymazatelná nevolatelní paměť

EGR - Exhaust Gas Recirculation, systém recirkulace výfukových plynů

EPB - Electronic Parking Brake, systém elektronické ruční brzdy

EPROM - Erasable Programmable Memory, semipermanentní typ paměti mazané UV zářením

ERN - Encrypted Random Number, náhodně generovaný číselný kód

ESP - Electronic Stability Program, elektronický stabilizační program

EU - European Union , Evropská Unie

EURO 6 - emisní norma

FF - hexadecimální tvar čísla 255

GiT - dodavatel diagnostického zařízení pro výrobce vozidel Hyundai/Kia

G-Scan - diagnostické zařízení

Hz - Hertz, jednotka frekvence

$I_p$  - Přecherčpávací proud

IP BOX - Intelligent Power Box, elektronická řídící jednotka komfortního systému

ISO - International Organization for Standardization, Mezinárodní organizace pro normalizaci

KWP - Key Word Protocol, diagnostický protokol

$K\Omega$  - Kiloohm, jednotka elektrického odporu

Kb - Kilobit, jednotka kapacity paměti

KHz - Kilohertz, jednotka frekvence

KPa - Kilopascal, jednotka tlaku

KWh - kilowatthodina, jednotka energie

LIN - Local Interconnect Network, sériový protokol pro komunikaci

MAF - Mass-Air Flow, množství nasávaného vzduchu

MDPS - Motor Driven power Steering, elektrický posilovač řízení

MED - přímé vstřikování zážehových motorů od firmy BOSCH

MHz - Megahertz, jednotka frekvence

MIL - Malfunction Indicator Lamp, kontrolka znázorňující chybová hlášení systému

MPa - Megapascal, jednotka tlaku

mm - milimetr, jednotka délky

NOx - Oxid dusíku

NTC - Negative Temperature Coefficient, záporný teplotní koeficient

např. - například

OBD - On-Board Diagnostics, palubní diagnostika osobního motorového vozidla

Obr. - obrázek

Ot. - otáčky

PCU - Power Control Module, řídící jednotka motoru

PWM - Pulse-Width Modulation, Pulzně-šířková modulace

popř. - popřípadě

RAM - Random Access Memory, paměť s přímým přístupem

RF - Radio frequency, elektrické signály o určité frekvenci

ROM - Read-Only Memory, elektricky nezávislá nepřepisovatelná paměť

RPM - Revolutions Per Minut, otáčky za minutu

Rx - Recieve, příjem

SMK - Smart Key System, elektronický systém bezklíčového startování

s- sekunda

sec. - sekunda

T - hmotnost vzduchu

Tab. - tabulka

TCU - Transmission Control Unit, řídící jednotka automatické převodovky

TPMS -Tire Pressure Monitoring System, systém sledování tlaku v pneumatikách

Tzn. - to znamená

Tzv. - tak zvaný

UIS - Unit Injector system , Systém čerpadlo-tryska

UPS - Unit Pump Systém, Systém čerpadlo-vedení-tryska

US - Americká emisní norma pro spalovací motory

USB - Universal Seriál Bus, univerzální sériová sběrnice

US 10 - United States, Americká emisní norma pro spalovací motory

UV - Ultraviolet, ultrafialové záření

U2 - druh moderního vznětového motoru vozidel hyundai

V - Volt, jednotka napětí



$V_{diff}$  – rozdílové napětí

WG - Waste gate, obtokový ventil výfukových plynů pohánějících turbodmychadlo

VGT- variable turbine geometry, turbodmychadlo s variabilní geometrií lopatek.

YAW/RATE - snímač příčného natočení/zrychlení vozidla

$ZrO_2$  - oxid zirkonu

$\lambda$  - Lambda , Součinitel přebytku vzduchu ve výfukových plynech

$\Omega$  - Ohm, jednotka elektrického odporu

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
1.1	Vývoj elektroniky motorového vozidla.....	2
1.2	Vývoj v oblasti řízení vznětového motoru .....	3
<b>2</b>	<b>Uspořádání elektrické soustavy vozidla Hyundai i30 U2 1.4.....</b>	<b>5</b>
2.1	Struktura Systému řízení motoru U2 1.4.....	6
2.1.1	Snímače .....	7
2.1.2	ECU .....	15
2.1.2.1	Konstrukce ECU.....	15
2.1.2.2	Jednotlivé části ECU .....	16
2.1.3	Akční členy.....	18
<b>3</b>	<b>Rozbor vybraných funkčních principů motormanagementu .....</b>	<b>24</b>
3.1	Funkce pro zlepšení startovacích podmínek - žhavení .....	24
3.2	Řízení recirkulace spalin .....	25
3.3	Regulace tlaku přeplňování .....	26
3.4	Řízení dodávky paliva .....	28
3.5	Omezení možnosti startu a běhu motoru .....	29
<b>4</b>	<b>Praktická realizace laboratorního modelu systému EDC se sběrníci CAN ...</b>	<b>30</b>
4.1	Úvod .....	30
4.2	Volba elektronického systému vozidla Hyundai pro realizaci laboratorního panelu .....	30
4.3	Návrh rozměrů a konstrukce laboratorního panelu .....	31
4.4	Realizace modelu elektronického systému řízení motoru EDC s CAN sběrníci.....	33
<b>5</b>	<b>Experimentální ověření realizovaného modelu.....</b>	<b>36</b>
5.1	Ověření vlastností modelu pomocí sériové diagnostiky .....	36
5.1.1	Spojení s řídicí jednotkou motoru (ECU).....	37
5.1.2	Spojení s řídicí jednotkou systému immobilizéru .....	43
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>45</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>47</b>
	<b>Přílohy .....</b>	<b>49</b>

# 1 Úvod

Vznětový motor jako agregát s největší účinností, nízkou spotřebou paliva, vysokou spolehlivostí a točivým momentem motoru byl vždy používán jako pohonná jednotka pro užitková vozidla. Neustálý pokrok v oblasti řízení vznětových motorů a trend vývoje trhu však přispěl k tomu, že se v současnosti vznětový motor používá i jako pohonná jednotka u osobních vozidel.

Hlavními důvody neustálého vývoje vznětových motorů jsou:

- zvyšování výkonu motoru při současném snižování spotřeby paliva,
- rostoucí požadavky na úroveň hluku motoru,
- snižování obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech (NO<sub>x</sub>, CO, HC, PM).

Nejen nároky na řízení vznětového motoru, ale také nároky na bezpečnost a komfort měly za následek zásadní rozvoj elektroniky v motorových vozidlech. Se stoupajícím počtem elektronických systémů se dále zvyšovaly nároky na propojovací kabeláž ve vozidle, zejména délku a počet svazků, konektorů a pinů. Tento trend dal podklad pro rozvoj síťových propojení jednotlivých systémů vozidla pomocí sběrnic namísto kabelového vedení, což pomohlo zásadně redukovat celkovou délku vedení kabelových svazků a ještě více podnítit rozvoj elektronických systémů motorových vozidel. V současnosti je stále nejpoužívanější sběrnice CAN, přestože již nevyhovuje požadavkům nejmodernějších systémů motorových vozidel, které mají daleko vyšší nároky na propustnost sběrnice, spolehlivost, zpoždění či počet účastníků komunikace.

Tato bakalářská práce se zabývá koncepcí řízení vznětových motorů systémem řízení EDC a komunikací tohoto systému prostřednictvím sběrnice CAN. Základní informace týkající se vývoje elektroniky v motorových vozidlech, požadavků kladených na moderní vznětový motor, součástí moderního systému EDC, jeho vybraných funkcí a logiky pro jejich řízení, jsou popsány v teoretické části.

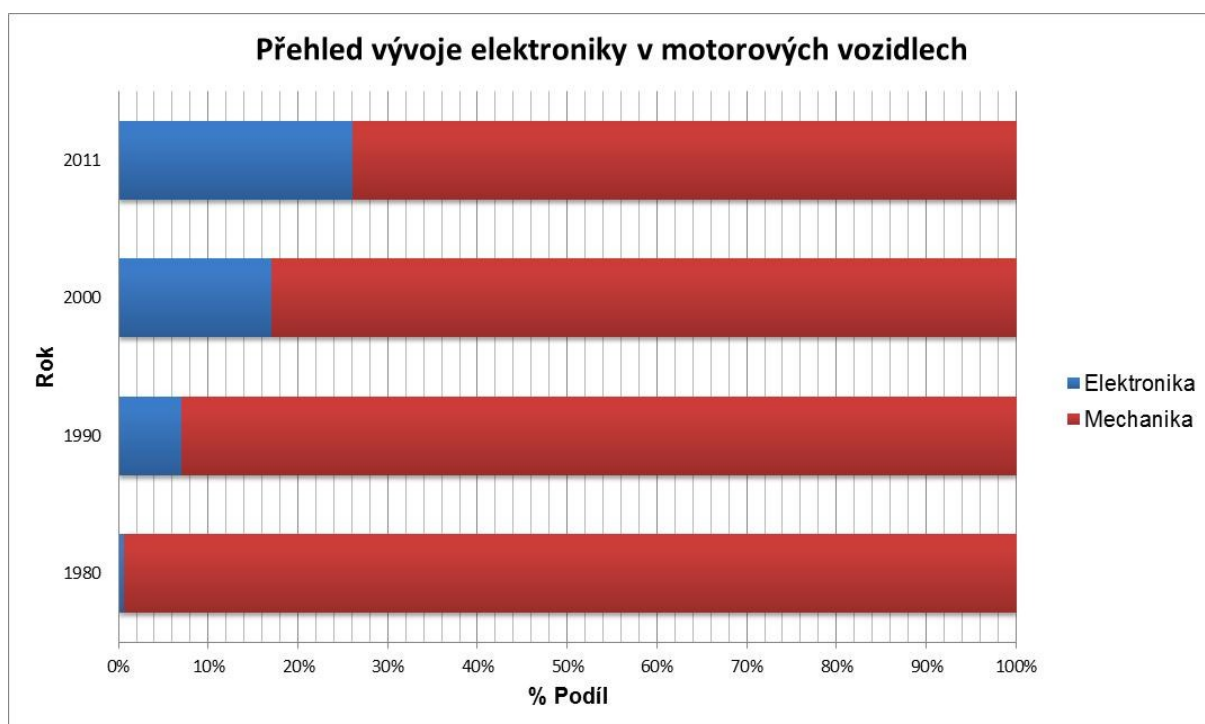
Praktická část popisuje průběh realizace elektronického modelu, od výběru vhodného elektronického systému vozidla, přes návrh a realizaci konstrukce panelu, až po samotné zapojení elektronického modelu. Dále jsou zde uvedena prováděná měření, kterými se ověřovala správná činnost jednotlivých funkcí realizovaného modelu, a která dále sloužila jako návrh pro zadání laboratorní úlohy.

Důvodem realizace laboratorního modelu CAN-BUS byla snaha o vytvoření přenosného testovacího zařízení určeného pro simulační a výukové účely související se systémem řízení motoru a sběrnici CAN, který zajistí měřící stanoviště bez nutné přítomnosti testovacího vozidla.

## 1.1 Vývoj elektroniky motorového vozidla

Jak již bylo zmíněno v úvodu, vzhledem ke stále se zvyšujícím nárokům na spalovací motory, komfort a bezpečnost motorového vozidla, v posledních letech zaznamenala elektronika v technice motorových vozidel obrovský vývoj.

Na níže uvedeném grafu je patrný nárůst využití elektroniky v motorových vozidlech za posledních 20 let. V roce 1980 činil podíl elektroniky v motorovém vozidle průměrně kolem 0,7%, v současnosti se průměr pohybuje kolem 26%. Především z cenových důvodů byly elektronickými systémy dříve vybavovány pouze vozidla vyšší třídy. Zásadní obrat nastal v devadesátých letech, kdy díky mohutnému rozvoji elektroniky došlo k výraznému snížení její ceny, a tím se stala dostupnější i pro vozidla střední třídy.



*Obr. 1: trend vývoje elektroniky v motorových vozidlech v letech 1980-2011*

Níže jsou uvedeny milníky vývoje elektronických systémů motorových vozidel, které se využívají i v dnešní době:

**Rok 1978** – protiblokovací systém ABS

**Rok 1979** – Motronic (kombinace zapalování a vstřikování)

**Rok 1983** – elektronické zapalování

**Rok 1986** – elektronická regulace vznětových motorů (EDC), elektronické řízení výkonu motoru

**Rok 1987** – protikluzová regulace ASR; elektronické řízení převodovky

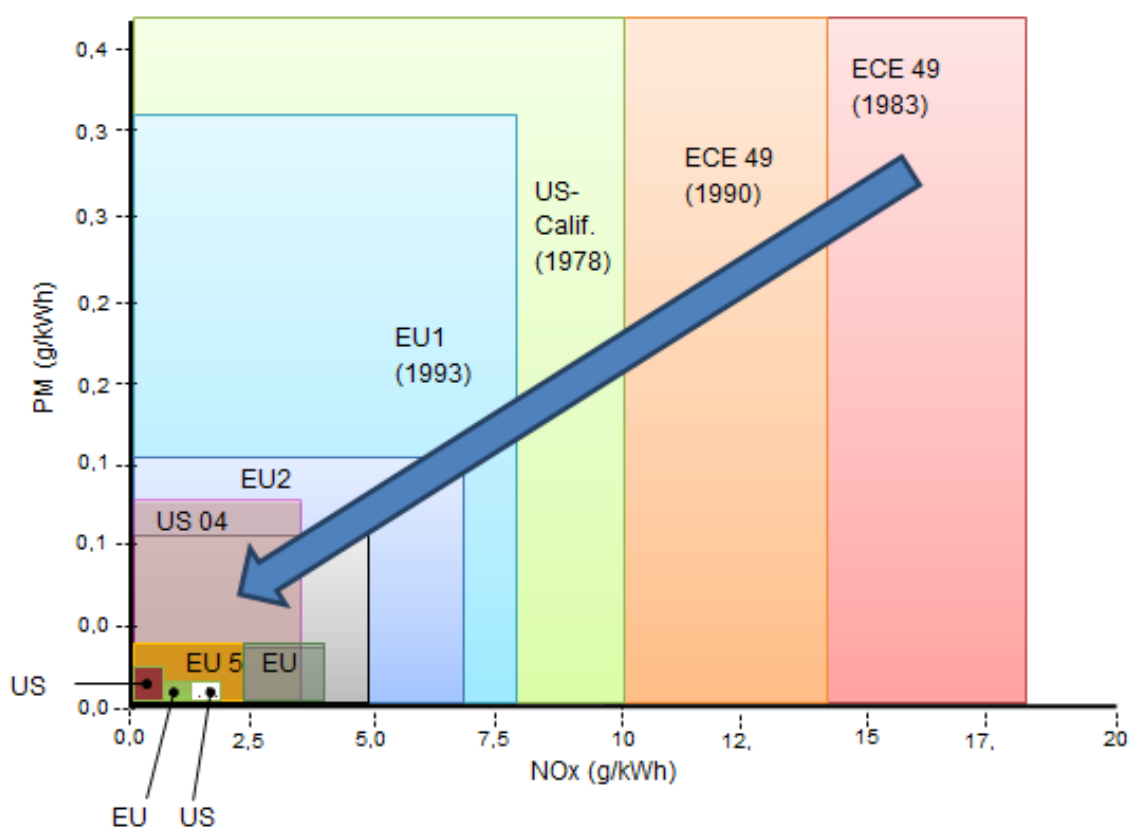
**Rok 1989** – CAN sběrnice; elektronické řízení turbodmychadla

**Rok 1997** – elektronický stabilizační program ESP, elektronický pedál akcelerace

**Rok 2000** – přímé vstřikování paliva zážehového motoru MED [5]

## 1.2 Vývoj v oblasti řízení vznětového motoru

Zejména velmi přísné současné nároky na snižování škodlivých emisí výfukových plynů motorových vozidel pro nově registrovaná vozidla jsou příčinou neustálého vývoje technologií vznětových motorů. Níže uvedený obr.2 zachycuje trend vývoje limitů škodlivin pro motorová vozidla. Z obrázku je patrný vývoj, který měl za následek výrazné zpřísnění těchto limitů během současných 20 let, i s ohledem na zatím připravované normy EURO 6 a US 10.



Obr. 2: Trend vývoje limitů škodlivin pro motorová vozidla; zdroj:[13]str.2, autorem upraveno

Pro splnění uvedených norem daného období musely vstřikovací systémy vznětových motorů projít určitým vývojem. Způsobem, jak stále snižovat produkované emise, byla cesta zvyšování vstřikovacích tlaků, čímž se ale také zvyšují nároky na přesnost řízení vstřikovacích systémů. Mechanické řízení a regulace byly nahrazeny elektronickým řízením vstřikovacího systému a jednotlivých funkcí motoru.

**Rok 1922** - firma Bosch, jako jedna z prvních, začala s vývojem vstřikovacích systémů pro vznětové motory

**Rok 1927** – byla zahájena sériová výroba řadových vstřikovacích čerpadel - od roku 1932 se začala řadová čerpadla používat u užitkových vozidel, o čtyři roky později i u osobních vozidel – od té doby vývoj technologie vznětových motorů neustále pokračoval

**Rok 1962** - zahájeno testování prvního rotačního vstřikovacího čerpadla s axiálními písty

**Rok 1976** - vyvinuta koncepce rotačního vstřikovacího čerpadla s automatickým přesuvníkem vstřiku

**Rok 1986** - firma Bosch ukončila testování nové koncepce elektronické regulace vstřikování vznětových motorů (EDC) a potvrdila připravenost tohoto projektu pro sériovou výrobu.

Elektronická regulace vstřikování znamenala nový rozměr v oblasti řízení vznětového motoru, což vedlo výrobce k inovacím a vzniku následujících nových systémů.

**Rok 1994** - vyvinut systém čerpadlo-tryska (UIS) pro užitková vozidla

**Rok 1995** - vyvinut systém čerpadlo-vedení-tryska (UPS)

**Rok 1996** - vyvinuto první rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty

**Rok 1997** - vyvinut první vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem Common Rail

**Rok 1998** - vyvinut systém čerpadlo-tryska (UIS) pro osobní vozidla [1]

Díky neustálému vývoji systémů vstřikování vznětových motorů se zvyšovaly i požadavky na celý systém řízení vznětového motoru. Moderní systémy EDC zajišťují tyto funkce:

- vysoké vstřikovací tlaky
- předvstřik a případně dodatečné vstřikování
- každému provoznímu stavu přizpůsobené vstřikované množství paliva, plnicí tlak a počátek vstřiku
- velikost startovací dávky v závislosti na okolní teplotě
- řízení volnoběžných otáček nezávisle na zatížení motoru
- řízení systému recirkulace výfukových plynů (EGR)
- řízení regulace rychlosti (tempomat)
- malé tolerance doby vstřikování a vstřikované dávky, vysoká přesnost během celé životnosti (dlouhodobé chování) [1]

## 2 Uspořádání elektrické soustavy vozidla Hyundai i30 U2 1.4

Vozidlo Hyundai i30 nové generace je, stejně jako většina současných moderních vozidel nižší střední třídy, vybaveno množstvím elektronických systémů, které zajišťují pohonné, bezpečnostní či komfortní prvky motorového vozidla. Komunikace mezi těmito systémy je zajištěna pomocí sběrnice CAN, která je z hlediska zajištění přenosu dat mezi elektronickými systémy motorového vozidla nejpoužívanější sběrnici současnosti.

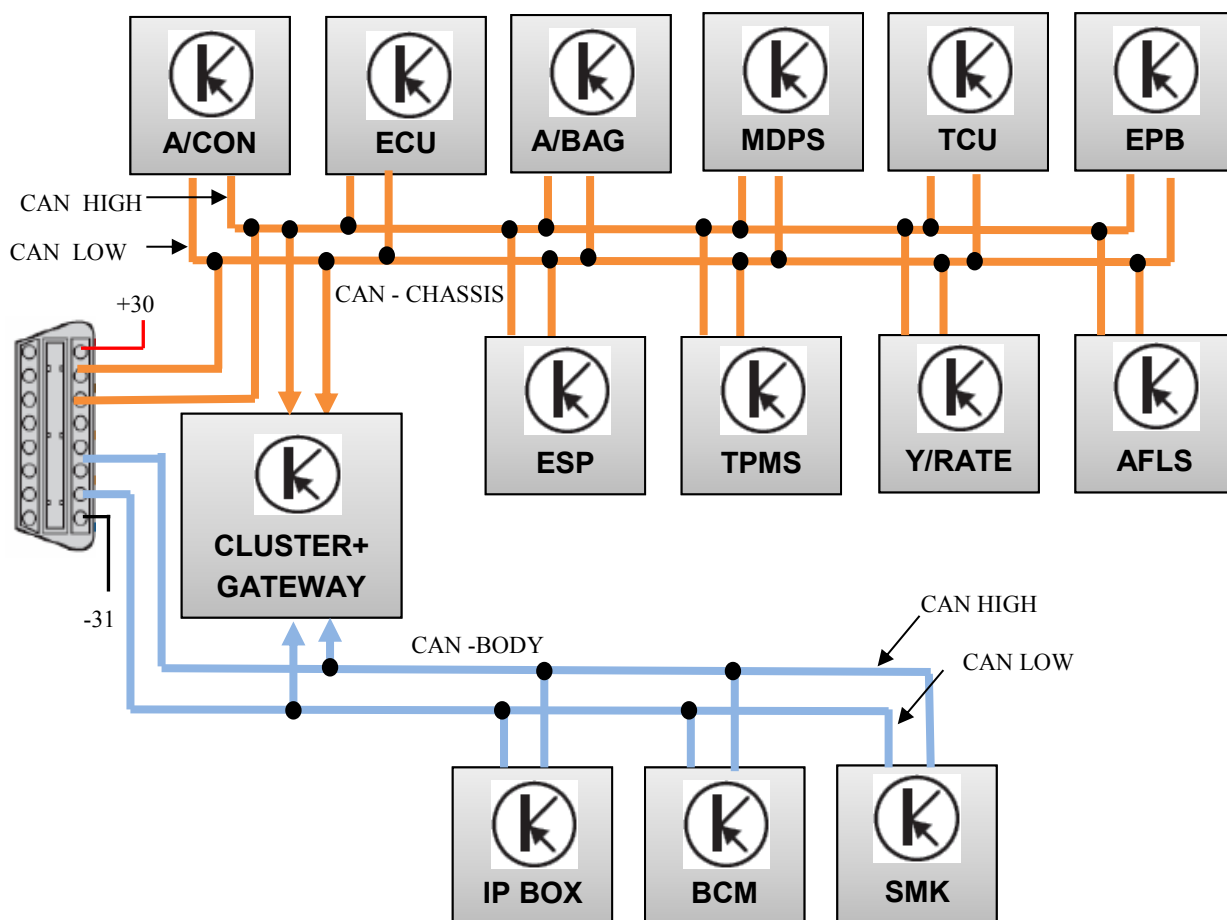
Na obrázku 3 je znázorněno propojení jednotlivých řídicích jednotek vozidla Hyundai i30 pomocí této sběrnice. Ta se skládá ze dvou datových vedení:

- CAN CHASIS - zajišťuje komunikaci systémů hnacího ústrojí (ECU/TCU-řízení motoru/automatické převodovky), systémů zajišťujících ovladatelnost vozidla (brzdové a stabilizační systémy ABS/ASR/ ESP, snímač natočení vozidla YAW/RATE, elektrický posilovač řízení MDPS), bezpečnostních prvků (systém A/BAG) a doplňkových funkcí souvisejících s hnacím ústrojím (elektronická ruční brzda EPB, adaptivní světlomety AFLS, řízení klimatizace A/CON, systém sledování tlaku v pneumatikách TPMS)
- CAN BODY – slouží ke komunikaci systémů zajišťujících komfortní funkce vozidla - IP BOX (zamykání/odemykání, světla, směrové ukazatele), BCM (indikace funkcí, zvuková signalizace, dálkové ovládání, stěrače, vyhřívání oken, asistent parkování, ostřikovače), SMK (bezklíčové startování)

Důvodem použití více datových vedení CAN-BUS ve vozidle je:

- Rozdílná priorita informací přenášených zpráv řídicích jednotek (přenosu informací spojených s hnacím ústrojím a bezpečnostními prvky je přidělena vyšší priorita než např. přenosu dat spojenými s komfortními a multimediálními systémy vozidla)
- Rozdílná přenosová rychlost sběrnice (Datová sběrnice hnacího ústrojí/CHASSIS CAN má přenosovou rychlost 500 Kb/s, což je druh CAN sběrnice s označením „high speed“. Datová sběrnice komfortní elektroniky/BODY CAN pracuje s přenosovou rychlostí do 100 Kb/s, což označujeme jako „low speed“. Z důvodu rozdílných přenosových rychlostí tedy není možné vzájemně propojit sběrnici hnacího ústrojí se sběrnici komfortní elektroniky, ale je nutné propojení přes rozhraní zvané GATEWAY.

Rozhraní GATEWAY můžeme označit jako uzel, který spojuje dvě rozdílné sítě. Jak můžeme vidět na zapojení na obrázku dole, u vozidel Hyundai i30 je rozhraní GATEWAY součástí panelu přístrojů (Cluster). S jednotkami níže uvedeného systému lze komunikovat pomocí dvou rozdílných komunikačních protokolů – CCP (CAN COMMUNICATION PROTOCOL) a KWP (KEYWORD PROTOCOL).



Obr. 3: Struktura zapojení řídicích jednotek vozidla Hyundai i30

## 2.1 Struktura Systému řízení motoru U2 1.4

Pohonné jednotky s označením U2 využívají nejnovější technologie na trhu v oblasti vstřikování, ekologie a řízení motoru. Vstřikování paliva je zajištěno moderním systémem Common-Rail s pracovním tlakem 1600 bar. Účinnost motoru dále zvyšuje proměnné časování sacích a výfukových ventilů, zdokonalený proces spalování a řízení turbodmychadla WG/VGT. Standardní verze motoru splňuje emisní normu Euro 4, s filtrem pevných částic i normu Euro 5. Řízení motoru je zajištěno nejmodernějším systémem managementu motoru EDC 17.

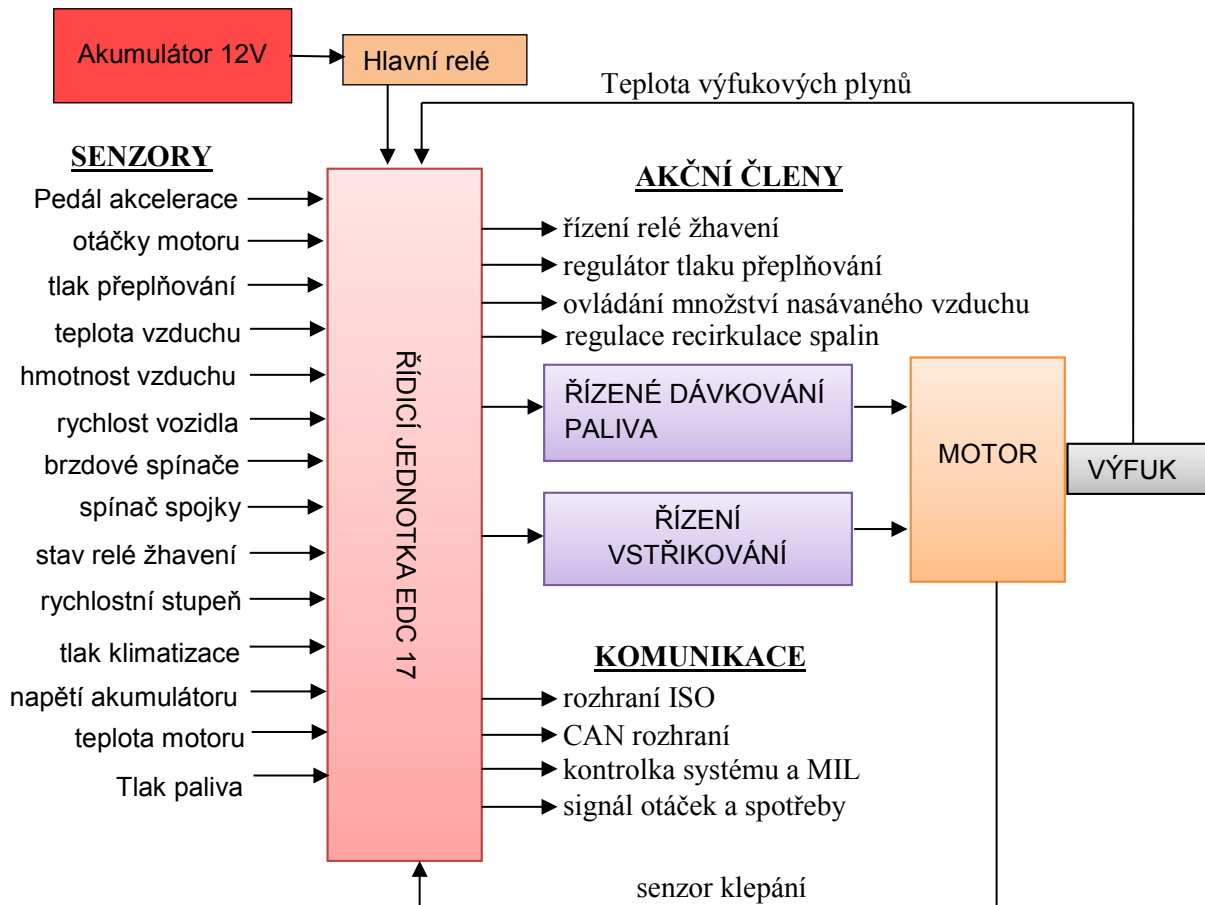
Systém EDC je rozdělen do tří částí:

- Snímače a čidla předepsaných hodnot – převádí fyzikální veličiny na elektrické signály. Jejich úkolem je snímání provozního stavu motoru a zaznamenávání požadavků řidiče na daný provozní stav.
- Řídicí jednotka ECU - zpracovává informace ze snímačů a čidel předepsaných hodnot na základě přednastavených matematických operací (řídicích a regulačních algoritmů). Výstupem jsou pak řídicí elektrické signály, kterými se ovládají akční členy.



ECU jednotka také komunikuje pomocí komunikačního rozhraní s dalšími elektronickými systémy vozidla a s diagnostickými zařízeními.

- Akční členy – převádí výstupní elektrické signály řídicí jednotky motoru na fyzikální veličiny (např. elektromagnetický ventil vstřikování paliva, popř. elektromagnetický ventil vstřikovacího čerpadla)



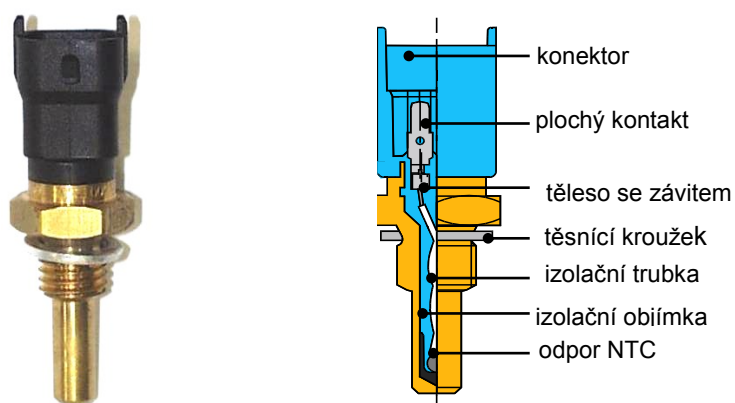
Obr. 4: Schéma systému řízení motoru EDC; zdroj:[3]str.20, autorem upraveno

### 2.1.1 Snímače

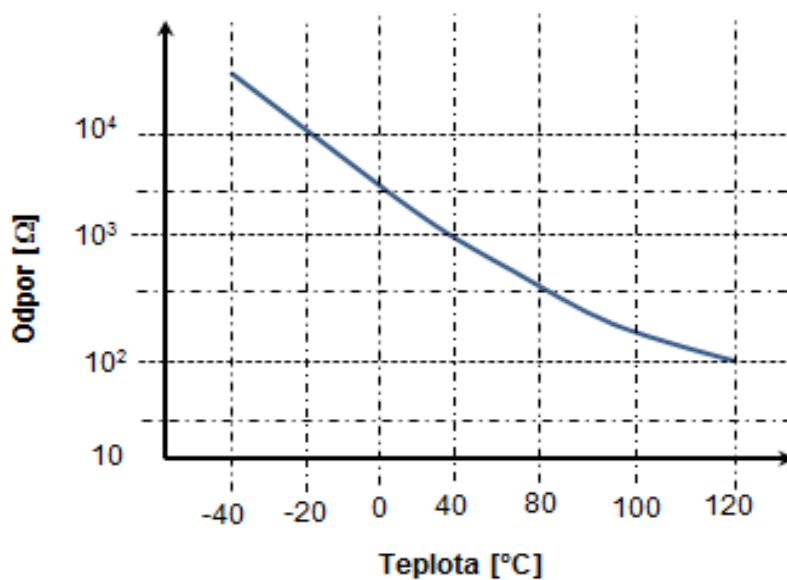
Snímače jsou společně s akčními členy v podstatě periférie rozhraní mezi vozidlem, jeho komplexními funkcemi (pohon, brzdy, podvozek, karosérie, řízení, navigace atd.) a digitální řídicí jednotkou, která provádí zpracování. Zpravidla se signály snímačů upravují pomocí přizpůsobovacích obvodů do standardizovaného tvaru požadovaného řídicí jednotkou.

## Snímače teploty

Napěťový dělič napájený napětím 5V obsahuje měřící rezistor. Napětí měřené na měřícím rezistoru je tak závislé na teplotě. Výstupní signál je převeden pomocí analogově-digitálního převodníku a je měřítkem pro teplotu na snímači. V řídicí jednotce motoru je uložena charakteristika, ve které každé hodnotě odporu (= hodnotě výstupního napětí) odpovídá určitá teplota.



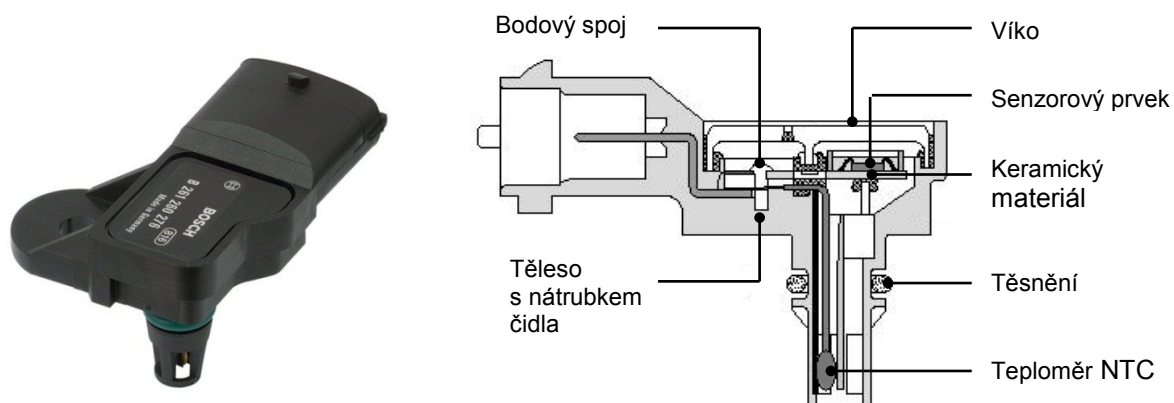
Obr. 5: Odporové teplotní čidlo (NTC); zdroj:[20]str.60



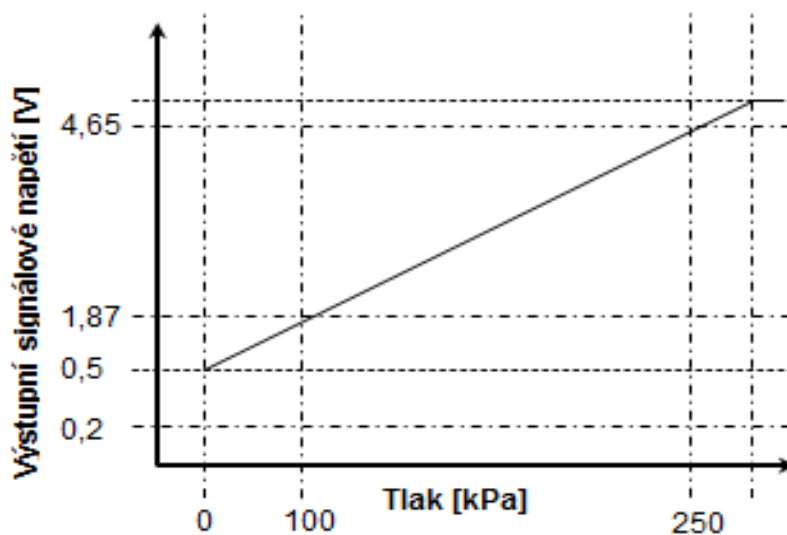
Obr. 6: Charakteristika odporového čidla typu NTC; zdroj:[20]str.61, autorem upraveno

## Mikromechanické snímače tlaku

Základním prvkem mikromechanického snímače tlaku je senzorový prvek. Senzorový prvek obsahuje křemikový čip, který má v sobě vyleptánu tenkou membránu. Na membráně jsou umístěny 4 elastické rezistory, které mění svůj elektrický odpor v závislosti na mechanickém napětí. Rezistory jsou umístěny tak, aby u dvou z nich elektrický odpor narůstal a u dalších dvou klesal.



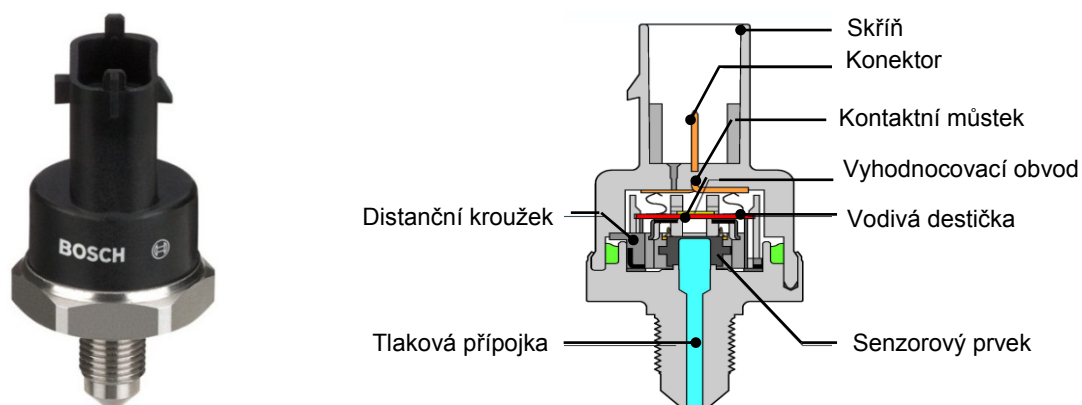
Obr. 7: Mikromechanický snímač tlaku; zdroj:[15]str.43, autorem upraveno



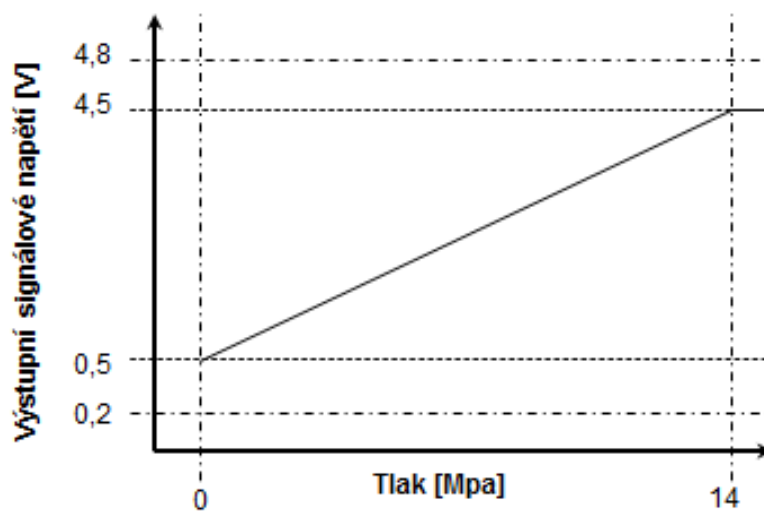
Obr. 8: Charakteristika mikromechanického snímače tlaku; zdroj:[7]str.73, autorem upraveno

### Snímače tlaku v tlakovém zásobníku

Stejně jako u mikromechanického snímače tlaku je i ve snímači tlaku v tlakovém zásobníku jádro snímače tvořeno senzorem s elastickými rezistory v můstkovém.



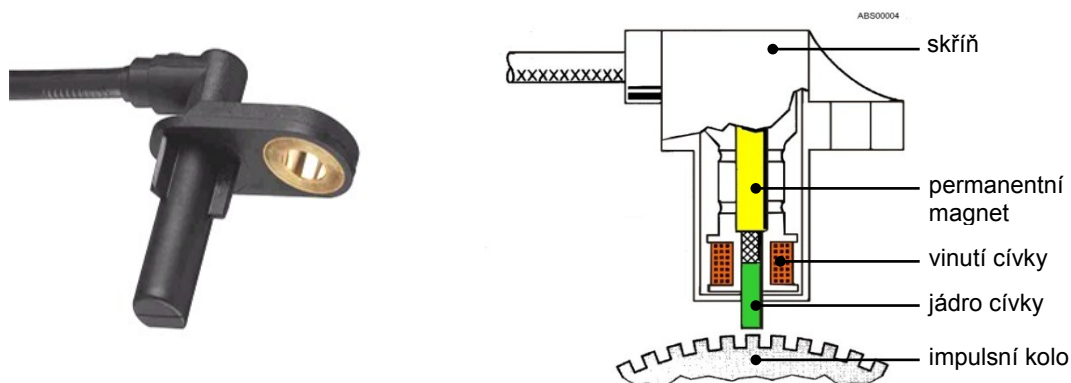
Obr. 9: Snímač tlaku v tlakovém zásobníku; zdroj:[15]str.64, autorem upraveno



Obr. 10: Výstupní charakteristika snímače tlaku v tlakovém zásobníku;  
zdroj:[15]str.65, autorem upraveno

## Induktivní snímač otáček motoru

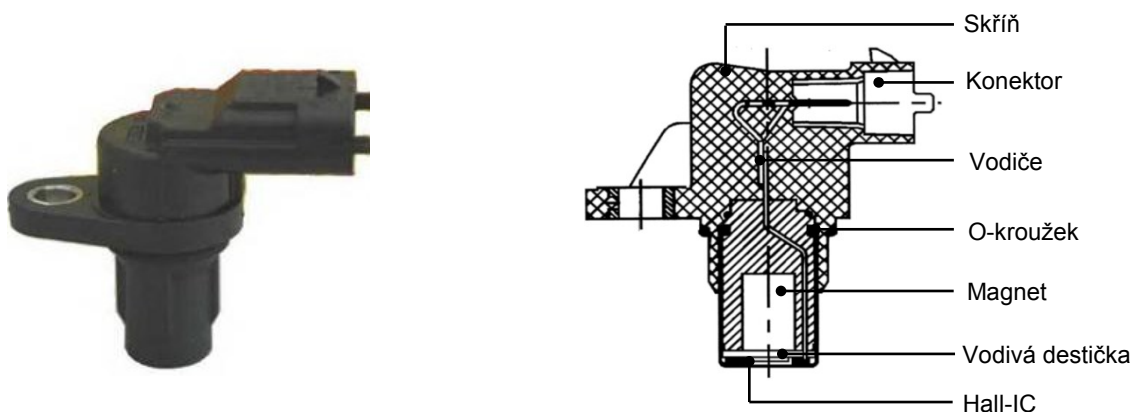
Hlavní částí induktivního snímače je permanentní magnet. S ním je spojen pólový nástavec, na kterém je navinuta cívka. Jádro cívky je namontováno přímo proti feromagnetickému impulznímu kolu a odděleno vzduchovou mezerou. Otáčením impulzního kola dochází ke střídání části kola zub-mezera před jádrem cívky a díky této změně dochází k indukci sinusového průběhu v cílce snímače. Zvyšujícími se otáčkami prudce roste amplituda výstupního střídavého signálu. Snímač se využívá k měření otáček motoru a určování polohy klikové hřídele.



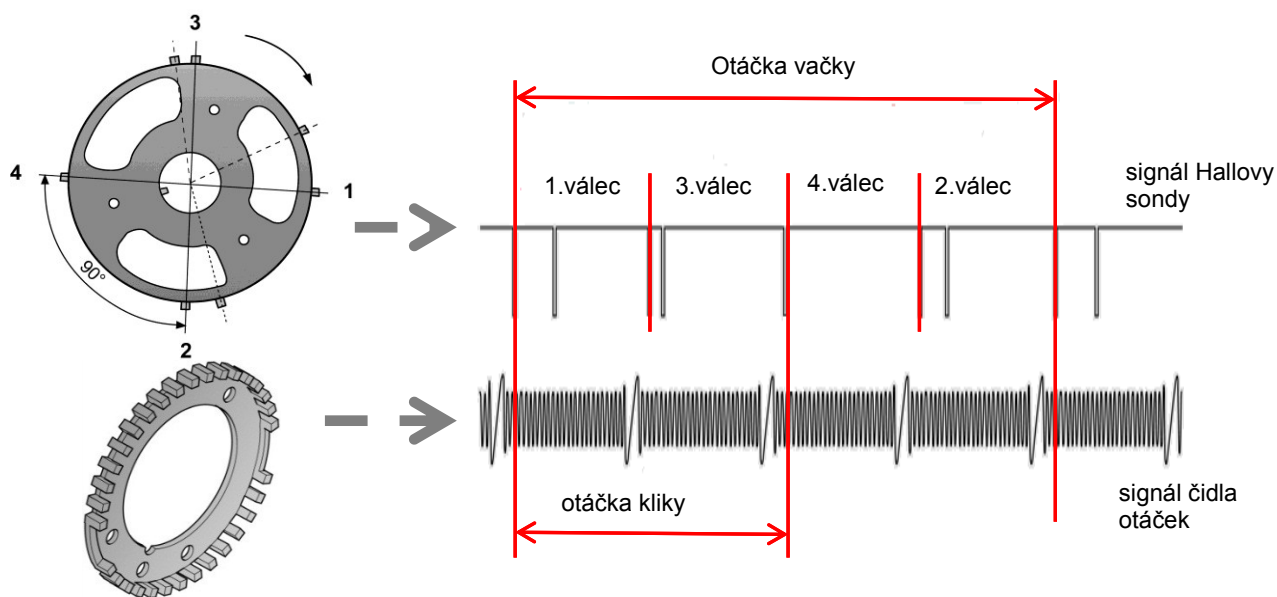
Obr. 11: Induktivní snímač otáček motoru; zdroj:[18]str.18, autorem upraveno

## Hallovy snímače fáze

Základ snímače tvoří hallův snímač IC, který je umístěn mezi trvalý magnet a reakční kolo s otvory, které je součástí otáčející se vačkové hřídele. Otáčením vačkové hřídele dojde ke změně intenzity magnetického pole, působícího na polovodičovou destičku. Výstupem je napěťový signál o velikosti několika set milivoltů, který má na výstupu obdélníkový tvar. Snímač slouží k přesnějšímu určení polohy pístu ve válci. Tato informace je snímána z reakčního kola umístěného na vačkové hřídeli a dále zpracována řídicí jednotkou motoru.



Obr. 12: Hallův snímač otáček; zdroj:[17]str.127, autorem upraveno



Obr. 13: Výstupní signál indukčního a Hallova snímače otáček motoru;  
zdroj:[17]str.129, autorem upraveno

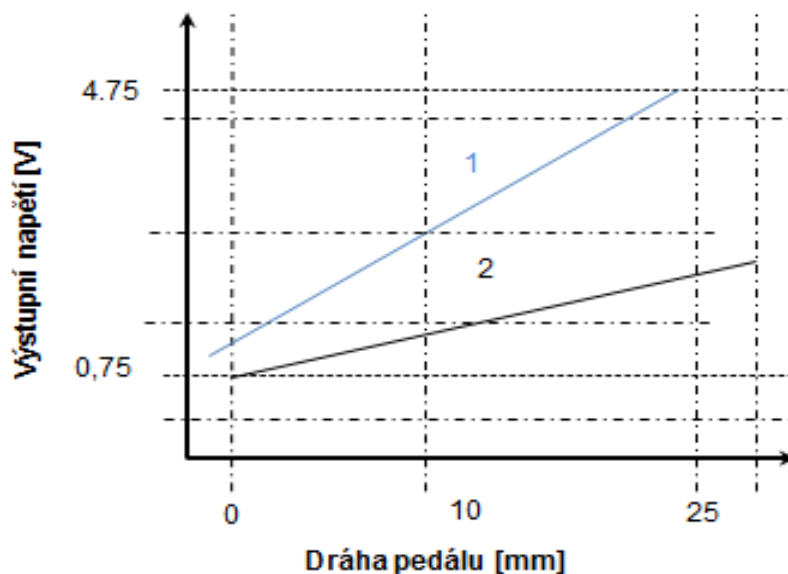
### Snímač pedálu akceleraace

Základem snímače kontaktního pedálu akceleraace je potenciometr, který upravuje výstupní signál snímače v závislosti na poloze pedálu akceleraace. Výstupní signál pedálu akceleraace je z důvodu vzniku případné závady a jejího rychlého nalezení tzv. redundantní (zdvojený). Druhý potenciometr měří v každém pracovním bodě poloviční napěťový signál toho prvního, čímž jsou zajištěny dva nezávislé výstupní signály.



Obr. 14: Snímač pedálu akceleraace

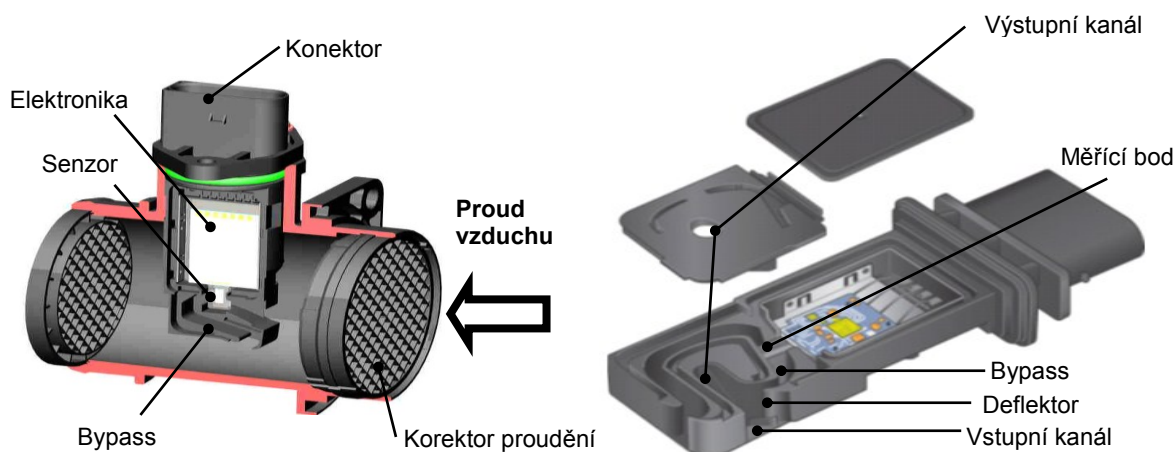
Výstupní charakteristika obou potenciometrů (1-potenciometr 1, 2- potenciometr 2) je zobrazena níže.



Obr. 15: Výstupní charakteristika snímače pedálu akceleraace; zdroj:[7]str.32, autorem upraveno

### Měřič hmotnosti vzduchu

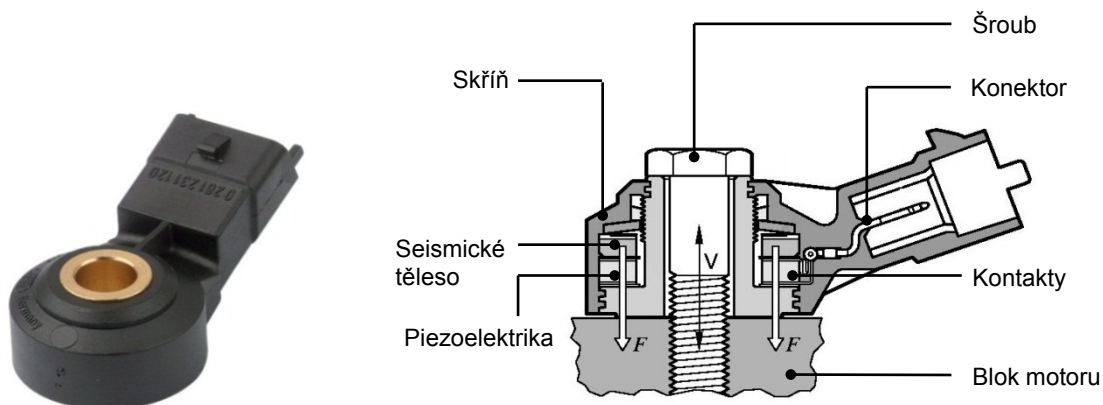
Základ měřiče tvoří tzv. zásuvný modul s měrným článkem, který je zvrchu zasunut do tělesa snímače a ke kterému přívodním kanálem proudí dílčí proud vzduchu. Tenká membrána měrného článku snímače je ohřívána vyhřívacím rezistorem na konstantní teplotu. Na membráně jsou umístěné dva teplotně závislé rezistory ( $T_1, T_2$ ). Prouděním vzduchu ohřátého topným článkem se tento měrný článek ohřívá. Teplo předané proudícímu vzduchu má za následek rozdíl teplot na měrných rezistorech, což je měřítkem pro hmotnost vzduchu ( $T$ ).



Obr. 16: Snímač hmotnosti vzduchu; zdroj:[20]str.60

### Piezoelektrické snímače klepání

Jedná se o snímače vibrací. Vibrace mají za následek posun náboje a mezi spodní a horní stranou keramiky vzniká elektrické napětí, které snímač převádí na elektrické signály a předává je do řídicí jednotky. Snímače klepání monitorují klepání motoru při nekontrolovaném spalování.

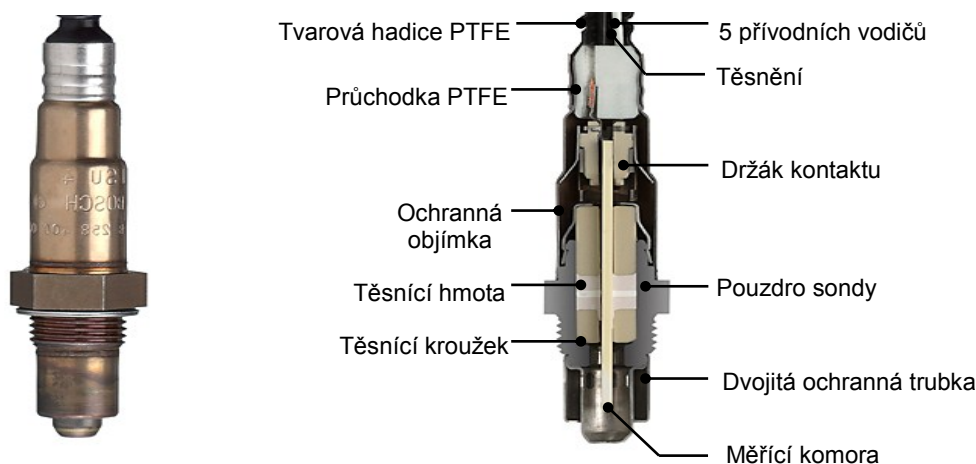


Obr. 17: Snímač klepání; zdroj:[15]str.75, autorem upraveno

### Planární širokopásmová sonda

Jedná se o planární dvoučlánekovou sondu. Základem snímače je měřící článek, který je tvořen keramikou s oxidem zirkonu ( $ZrO_2$ ). Širokopásmovou planární sondu můžeme vnímat jako kombinaci dvoubodové lambda sondy s článkem čerpadla kyslíku.

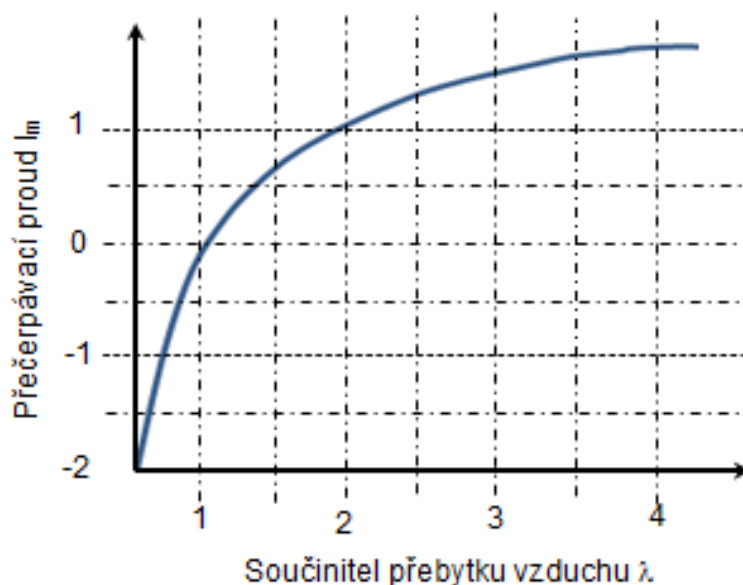
Nernstův koncentrační článek snímače porovnává koncentraci kyslíku ve vzorku výfukových plynů nacházející se v difuzní štěrbině s okolním vzduchem nacházejícím se v referenčním vzduchovém kanálku. Na základě tohoto porovnání může být nastaven koeficient  $\lambda$  v difuzním kanálku.



Obr. 18: Širokopásmová lambda-sonda; zdroj: [15]str.79



Na následujícím grafu je zobrazena proporcionální závislost přečerpávacího proudu  $I_m$  na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$ , díky čemuž je nelineárním měřítkem hodnoty  $\lambda$ .



Obr. 19: Závislost přečerpávacího proudu na součiniteli přebytku vzduchu; zdroj: [7]str.117, autorem upraveno

## 2.1.2 ECU

ECU (Electronic Control Unit) je obecné pojmenování pro elektronickou řídicí jednotku, která zpracovává vstupní informace, následně vyhodnocuje provozní parametry a prostřednictvím akčních členů je realizuje. V souvislosti s řízením motoru se můžeme často setkat s touto zkratkou označující řídicí jednotku motoru, nejznámější a nejdůležitější řídicí jednotku v motorovém vozidle. Lze se však také setkat s označením ECM (Electronic Control Module) nebo PCU (Power Control Module), což je zkratka přímo označující řídicí jednotku motoru, popř. řídicí jednotku motoru a automatické převodovky (je-li součástí řídicí jednotky motoru).

### 2.1.2.1 Konstrukce Řídicí jednotky motoru

V plastovém nebo kovovém obalu, se nachází tištěný plošný spoj, který je obalem chráněn proti vlhkosti, otřesům, nárazům a chemickým či teplotním vlivům okolí. Vícepínový konektor zajišťuje připojení řídicí jednotky k napájení a také zajišťuje spojení se snímači a akčními členy.

Vysokonapětové řídicí členy zajišťují ovládání akčních členů a jsou uloženy v části obalu, která je schopna zajistit tepelnou výměnu vzduchu uvnitř.



*Obr. 20: Obal řídicí jednotky motoru*

### 2.1.2.2 Jednotlivé části ECU

#### **Mikrokontrolér**

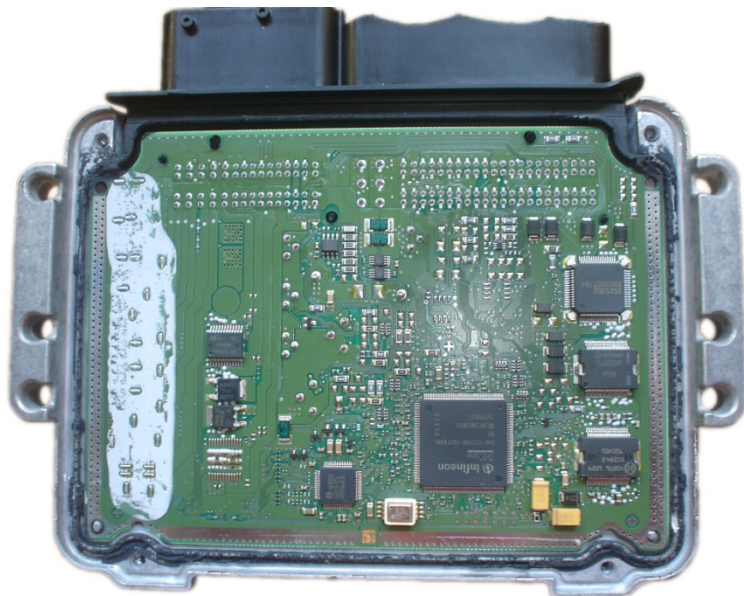
Jedná se o hlavní část ECU, která řídí posloupnost vykonaných operací. Mikrokontrolér obsahuje vstupní a výstupní porty, časovače, paměti, sériová rozhraní a další periférie, přičemž vše je integrováno do jednoho mikročipu.

#### **Hlavní program a paměť**

Program (výpočty a operace vykonávané mikrokontrolérem; jedná se o neměnná data během provozního režimu vozidla) je uložen v tzv. „Read only memory“ paměti (read-only memory = ROM, EPROM, Flash-EPROM), která také obsahuje tzv. „variant-specific data“ (individuální data, charakteristiky, křivky, mapy).

- ROM (Read Only Memory) - slouží pro uložení programu. Obsah této paměti je dán výrobcem a zůstává nezměněn.
- EPROM (Erasable programable Memory) - paměť, kterou je možné vymazat UV zářením a přepsat pomocí programovacího zařízení spojeného s ECU přes sériové rozhraní. EPROM se nejčastěji používá jako samostatný komponent, který komunikuje s CPU přes datové rozhraní.

- Flash-EPROM - obsah paměti je možno smazat pomocí programovacího zařízení. Tato paměť je zpravidla součástí mikrokontroléru.



*Obr. 21: Plošný spoj řídicí jednotky motoru (BOSCH)*



*Obr. 22: Plošný spoj řídicí jednotky motoru (BOSCH)*

### **Provozní data a hlavní paměť**

Pro ukládání provozních dat (vypočtené/naměřené hodnoty) je zapotřebí použít tzv. Read/Write memory.

- RAM (Random Access Memory) - slouží pro ukládání okamžitých provozních dat (realtime data). Při odpojení ECU z napájení dojde ke ztrátě veškerých dat uložených v paměti RAM. Ta je tedy připojena ke stálému napětí z baterie.
- EEPROM - slouží pro uchování dat, která nesmí být ztracena při odpojení napájení (důležité adaptační hodnoty, přístupový kód pro immobilizér).

### **Monitoring Module**

Součástí ECU je také tzv. monitoring module. Na základě komunikace s mikrokontrolérem dochází k vzájemnému monitorování správné funkce obou těchto členů a jakmile je zaznamenána chyba, jeden z těchto členů spouští odpovídající nouzový stav nezávisle na ostatních činnostech.

## **2.1.3 Akční členy**

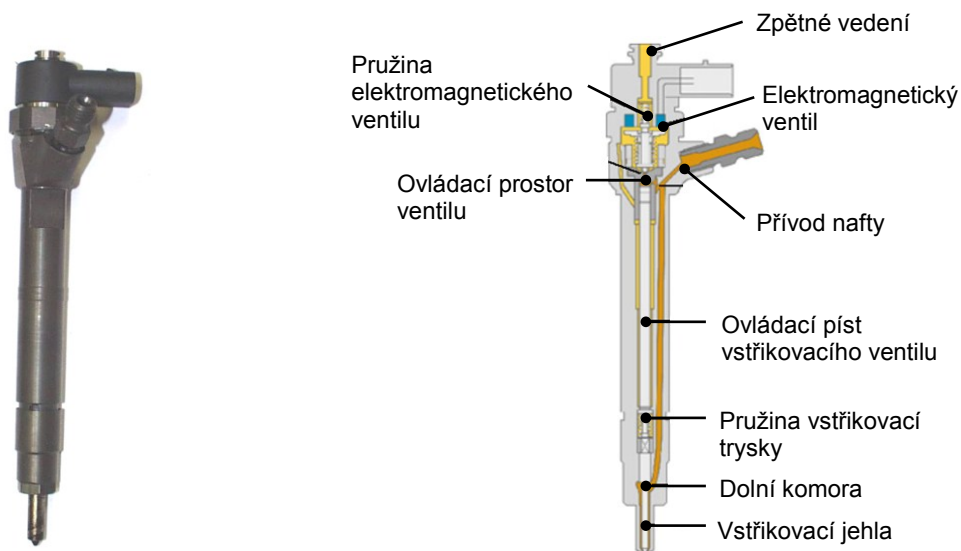
Jak již bylo výše uvedeno, akční členy jsou prvky, které převádí výstupní elektrické signály řídicí jednotky na fyzikální veličiny. Jinými slovy se jedná o prvky, které se používají k využití zpracované informace ECU, na základě které vykonávají v řízené soustavě určitou akci.

U moderních systému EDC se jedná o následující akční členy:

### **Vstřikovací ventily**

Vstřikovací ventil coby akční člen zajišťuje vstřikování paliva do daného válce vznětového motoru a zásadním způsobem ovlivňuje vstřikovanou dávku, tvorbu směsi a následný výkon a emise motoru.

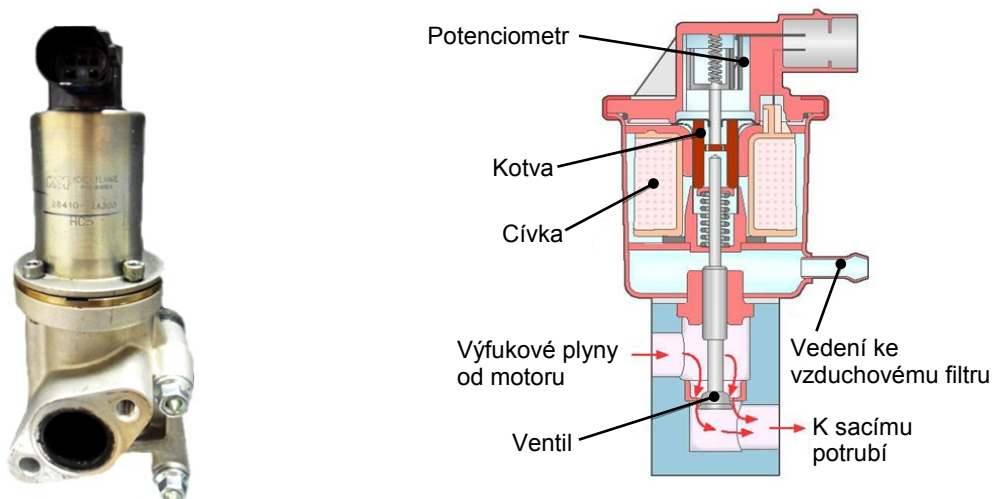
Vstřikování paliva do válce je prováděno otevíráním elektromagnetického ventilu vstřikovače řídicí jednotkou motoru. V klidovém stavu neprochází vinutím elektromagnetu proud a vstřikovač je tedy uzavřen. Průchodem strmého přitahovacího proudu elektromagnetem dochází k otevření ventilu, začíná vstřikování. Poté je proud procházející cívkou snížen na hodnotu udržovacího proudu, vstřikovač je zcela otevřen a palivo je pod tlakem v railu vstřikováno do válce. Zánikem průchodu proudu cívkou vstřikovače dochází k tomu, že síla pružiny trysky překročí sílu jehly trysky, jehla dosednutím do sedla uzavírá vstřikovací otvory.



Obr. 23: Elektromagnetický vstřikovač Common Rail, ; zdroj:[16]str.21 autorem upraveno

### Ventil recirkulace spalin

Regulace recirkulace spalin je prováděna prostřednictvím elektropneumatického ventilu. Řídící jednotka posílá signál do cívky elektromagnetu. V závislosti na velikosti napětí je kotva přitahována proti působení zpětné pružiny k cívce, čímž dochází k otevření ventilu a přepouštění výfukových plynů do sání. Po ukončení buzení elektromagnetu jednotkou je ventil zpět vrácen do výchozí polohy vratnou pružinou.

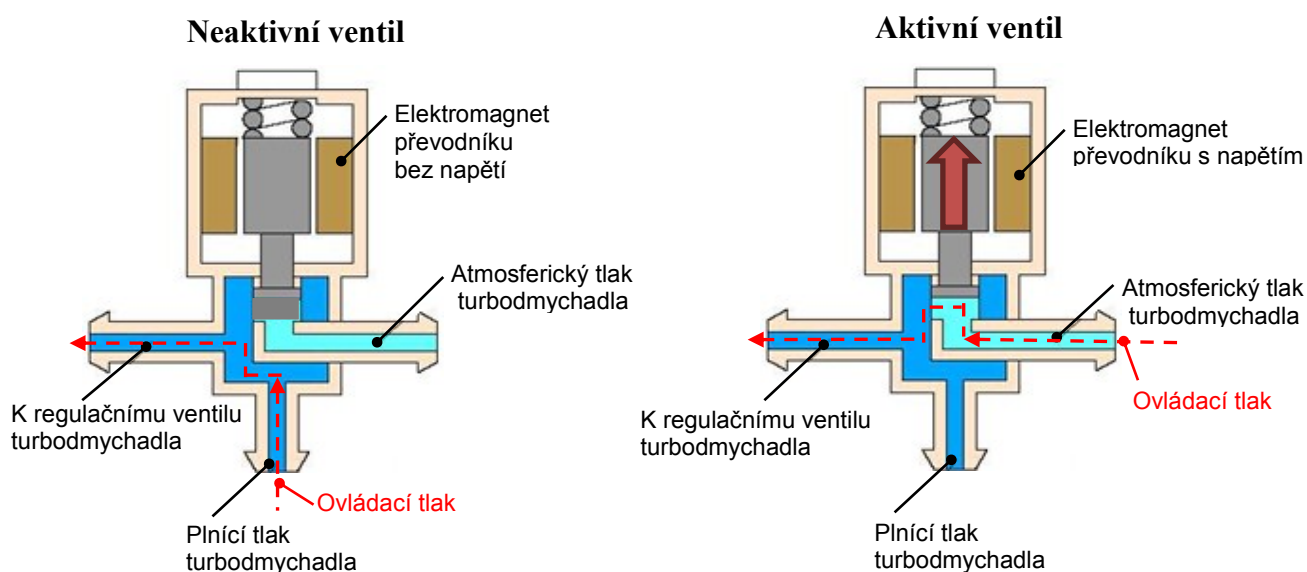


Obr. 24: EGR ventil; zdroj:[2]str.2 autorem upraveno

## Regulátor tlaku přeplňování

Elektropneumatický převodník převádí řídicí signál s proměnnou šířkou impulzu řídicí jednotky motoru na změnu tlaku, který působí na obtokový ventil plnicího tlaku turbodmychadla. Výstupním signálem tohoto převodníku je tedy tlak o hodnotě určené poměrným sepnutím převodníku dle řídicího signálu řídicí jednotky motoru.

Výsledný řídicí tlak je modulován z plnicího tlaku v sacím potrubí (za turbodmychadlem) a atmosferického tlaku (před turbodmychadlem).



Obr. 25: Regulátor tlaku přeplňování; zdroj:[17]str.36 autorem upraveno

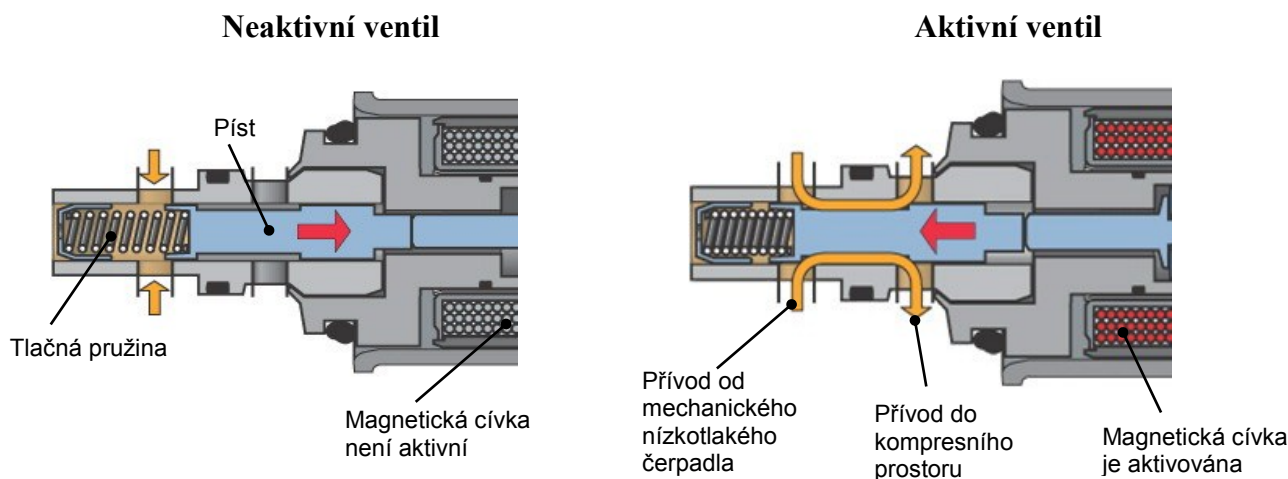
Je-li převodník bez napětí (vypnutý stav), je obtokový ventil zatížen plnicím tlakem tzn.je otevřený a část výfukových zplodin je odváděna mimo turbínu. Plnicí tlak je tedy snižován. Po přivedení napětí na elektromagnet převodníku je obtokový ventil spojen pouze s atmosferickým tlakem a zůstává tedy zavřený. Hodnota plnicího tlaku tedy narůstá.

## Dávkovací jednotka vysokotlakého čerpadla

Proporcionální magnetický ventil je součástí vysokotlakého čerpadla. Úlohou ventilu je zajištění regulace tlaku paliva ve vysokotlaké části palivového systému v závislosti na zatížení motoru. PWM signálem reguluje řídicí jednotka motoru otvírání ventilu dávkování paliva. Změnou šířky impulzu signálu se mění poloha pístu a tím i množství přiváděného paliva do kompresního prostoru vysokotlakého čerpadla.



Není-li na magnetické cívce ventilu napětí, je neaktivní ventil uzavřen tlakem pružiny. Tím je přívod paliva do kompresního prostoru vysokotlakého čerpadla přerušen. Aktivací magnetické cívky dochází k posouvání pístu, který působí proti pružině a otvírá přívod z nízkotlaké palivové části do kompresního prostoru čerpadla.

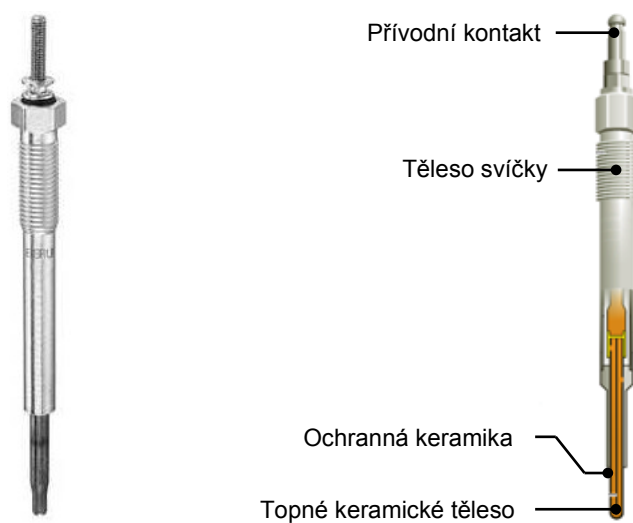


Obr. 26: Řez dávkovací jednotkou vysokotlakého čerpadla; zdroj:[18]str.74 autorem upraveno

### Žhavicí svíčka

Úkolem žhavicí svíčky je zvýšit ve velmi krátkém čase, před startováním, teplotu vzduchu ve spalovacím prostoru na teplotu vznícení nafty a v krátkém čase po startu podporovat vzněcování rozprášeného paliva, čímž je také zajištěn bezproblémový start vznětového motoru při nízkých teplotách a jeho tichý chod po startu. Základní částí žhavicí svíčky je těleso svíčky, které má v horní části přívodní napájecí kontakt a topné těleso, které je umístěno v ochranné keramice.

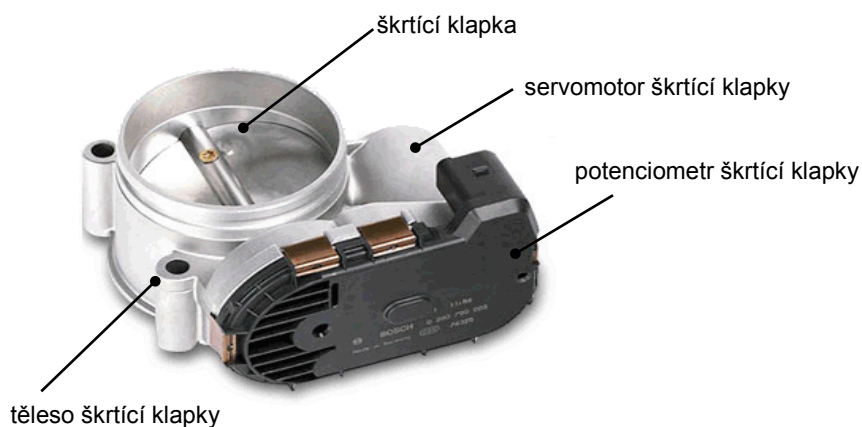
Žhavicí svíčka vyčnívá do spalovacího prostoru a přivedením napětí z baterie na napájecí kontakt dochází k jejímu rozžhavení na 900-1000 °C, přičemž dosahuje své největší teploty během 30-60 vteřin po přivedení napětí na napájecí kontakt svíčky.



Obr. 27: Žhavicí svíčka; zdroj:[18]str.108, autorem upraveno

### Škrticí klapka

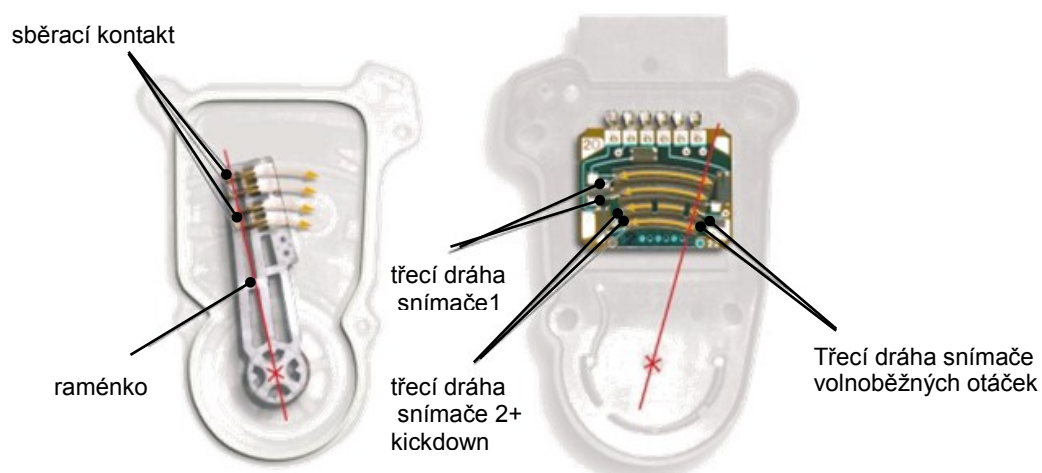
Škrticí klapka má v systému řízení vznětového motoru odlišnou funkci než u zážehového motoru. U systémů řízení EDC je škrticí klapka využívána ke zvýšení poměru recyklovatelných spalin, přičemž je jejím pohybem redukován vzniklý přetlak v sacím potrubí.



Obr. 28: Škrticí klapka; zdroj:[20]str.84, autorem upraveno



Aktuální poloha škrtkovací klapky je snímána snímačem polohy, což je potenciometrický snímač úhlu s dvěma lineárními charakteristikami (redundantní zdvojení signálu z důvodu vzniku případné závady a jejího rychlého nalezení). Výstupní signál potenciometru je zpracováván řídicí jednotkou motoru, která na základě zpracování provozních dat vypočítává rozdíl mezi aktuální a potřebnou polohou škrtkovací klapky a nastavuje polohu klapky pomocí servomotoru, který je součástí tělesa škrtkovací klapky.



Obr. 29: Redundantní potenciometrický snímač škrtkovací klapky; zdroj:[20]str.86, autorem upraveno

### 3 Rozbor vybraných funkčních principů motormanagementu

System EDC se skládá z velkého množství různých regulačních funkcí a principů. Vedle hlavní funkce, kterou je řízení vstřikovaného množství a okamžiku vstřiku, vykonává systém EDC vedlejší funkce spojené s emisními, výkonovými a komfortními požadavky na provoz a řízení motoru. Každá z těchto regulačních funkcí se skládá ze soustavy snímačů, akčních členů a regulačních smyček tvořené řídicí jednotkou motoru, popřípadě jinou řídicí jednotkou vozidla.

V rámci této bakalářské práce není možné zabývat se veškerými funkcemi systému EDC (moderní systém řízení vstřikovacího systému Common Rail obsahuje přibližně 20 jednotlivých funkcí a funkčních principů řízení), v rámci následujícího textu budou proto představeny pouze vybrané funkční principy řízení související s laboratorním modelem vytvořeným v praktické části této bakalářské práce.

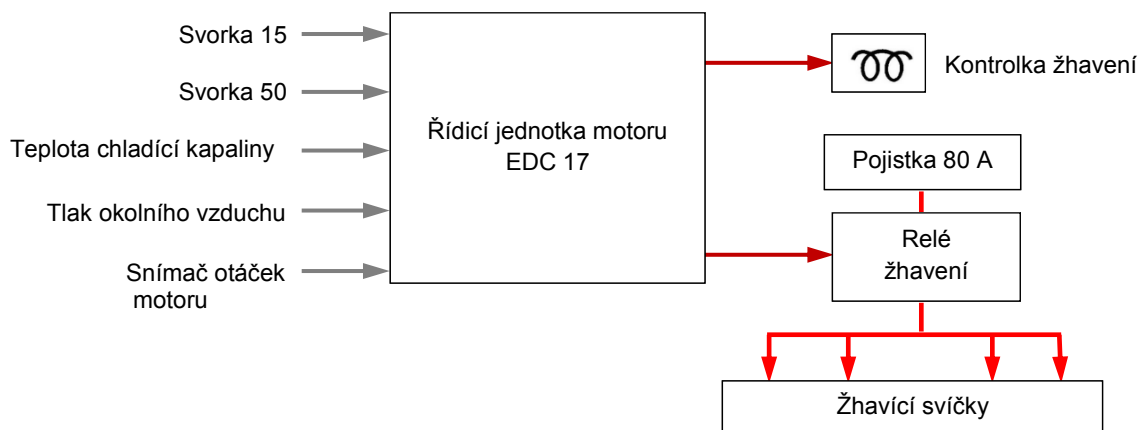
#### 3.1 Funkce pro zlepšení startovacích podmínek - žhavení

Vzhledem k zápalným vlastnostem paliv vznětových motorů je při jejich startu nutné využívat akční členy, které nám tyto nežádoucí vlastnosti eliminují a napomáhají docílit bezproblémového, plynulého startu a následného chodu motoru při nízkých okolních teplotách. řízení systému edc

Proces žhavení je aktivován spínačem startu a dále je rozdělen do tří základních částí:

- předžhavení (aktivní, je-li teplota nižší než 65°C)
- pohotovostní doba žhavení
- dožhavování (žhavení po spuštění motoru)

Otočením klíče do polohy ON (kontakt 15) dochází k aktivování fáze předžhavení. Řídicí jednotka motoru nastaví na základě teploty chladicí kapaliny a teplotě okolí dobu předžhavení, která je znázorněna indikátorem žhavení a aktivuje relé žhavení, čímž je na žhavicí svíčky přivedeno napětí. Po zhasnutí indikátoru žhavení jsou již žhavicí svíčky dostatečně zahřáté na proces startování motoru. Dále následuje fáze pohotovostní doby žhavení, která je pevně stanovena na 10 vteřin. Indikace žhavení není v této fázi již aktivní. Vstříknutím paliva do okolí žhavicí svíčky dochází k odpařování paliva a dále vznícení stlačeným horkým vzduchem.



Obr. 30: Schéma funkce žhavení systému EDC

Následuje fáze dožhavování (popř. žhavení po spuštění motoru). Tato fáze začíná po rozpoznání startu (svorka 50), je-li teplota motoru menší než  $+65^{\circ}\text{C}$ . Dožhavování trvá maximálně 180 sec (v závislosti na teplotě chladicí kapaliny) a napomáhá k rovnoměrnému startu a chodu motoru ve fázi po startu, se sníženou úrovní kouřivosti a hluku.

### 3.2 Řízení recirkulace spalín

Zpětnou recirkulací spalín dochází k přivádění části spalín z výfuku do sacího potrubí, čímž jsme schopni docílit snížení obsahu škodlivých látek výfukových plynů. Řízení recirkulace spalín provádí řídicí jednotka motoru prostřednictvím elektromagnetického ventilu EGR. Základním požadavkem na řízení recirkulace spalín je vhodná kombinace činnosti dvou regulačních prvků, samotného regulačního ventilu EGR a škrtkové klapky.

Samotné řízení recirkulace spalín se skládá z následujících funkcí:

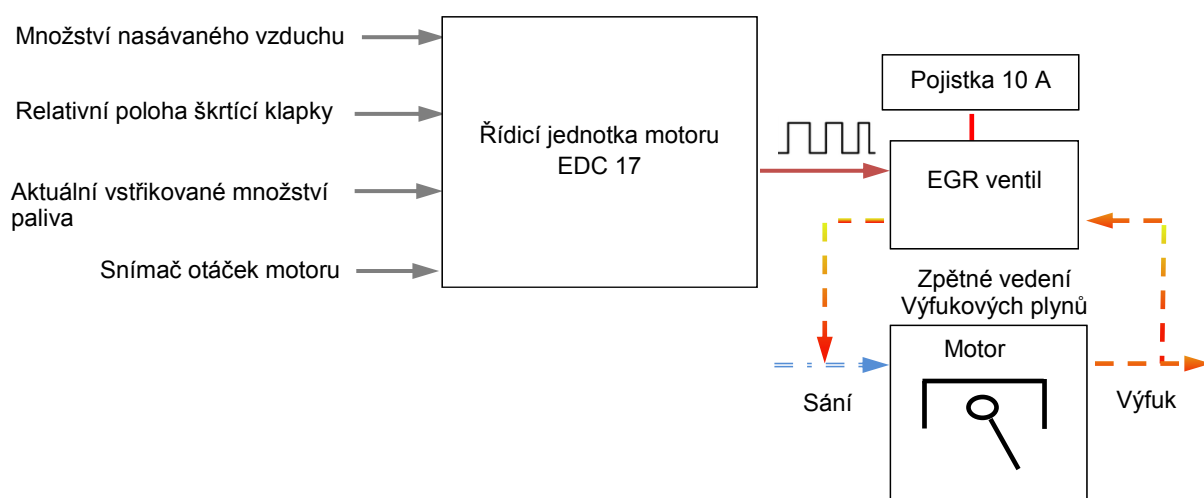
- určení požadované úrovně recirkulace spalín pro daný provozní stav motoru (tzv. „setpoint“)
- monitorování aktuální úrovně recirkulace spalín
- regulace recirkulace dle daného provozního stavu motoru na základě odchylky požadované a aktuální úrovně recirkulace spalín
- stav vypnutí recirkulace spalín

Jak můžeme vidět na schématu činnosti řízení recirkulace výfukových plynů, nejdůležitější proměnné pro řízení jsou:

- průměrné otáčky motoru
- aktuální filtrovaná/ nefiltrovaná úroveň vstřikovaného množství paliva
- aktuální úroveň množství nasávaného vzduchu

Jako korekční proměnné jsou dále použity relativní polohy akčních členů vyjádřené v procentech. Pro ventil EGR je úroveň 100% rovna zavřenému ventilu, což znamená maximální možnou úroveň proudění čerstvě nasávaného vzduchu v sání, měřenou snímačem množství nasávaného vzduchu. Oproti tomu 0% znamená otevření ventilu EGR, a tedy minimální úroveň proudění čerstvě nasávaného vzduchu. Naopak úroveň otevření škrtkové klapky, měřena potenciometrickým snímačem škrtkové klapky, rovna 100% udává maximální otevření, a tedy i maximální úroveň proudění. Hodnota 0% pak logicky znamená zavřenou škrtkovou klapku.

Cílem výrobců vozidel je eliminace užívání EGR funkce během činnosti motoru na dobu nezbytně nutnou, neboť při aktivní recirkulaci dochází k výraznému zvýšení spotřeby a poklesu výkonu. Z tohoto důvodu dochází k recirkulaci spalín pouze v úrovni minimálního/částečného zatížení motoru (otáčky motoru < 2500 ot/min). [6]



Obr. 31: Schéma funkce recirkulace výfukových plynů

### 3.3 Regulace tlaku přeplňování

Regulace tlaku přeplňování se provádí za účelem zvýšení plnicího tlaku vzduchu, docílení stabilní charakteristiky plnicího tlaku a díky tomu i stabilní charakteristiky točivého momentu v celém rozsahu otáček motoru a polohy plynového pedálu, což zajistí celkově vysoký stupeň účinnosti motoru. Naopak v oblasti částečného zatížení motoru je zapotřebí, z důvodu ochrany mechanických částí motoru, omezit plnicí tlak.

Regulaci tlaku přeplňování je možné provádět dvěma způsoby:

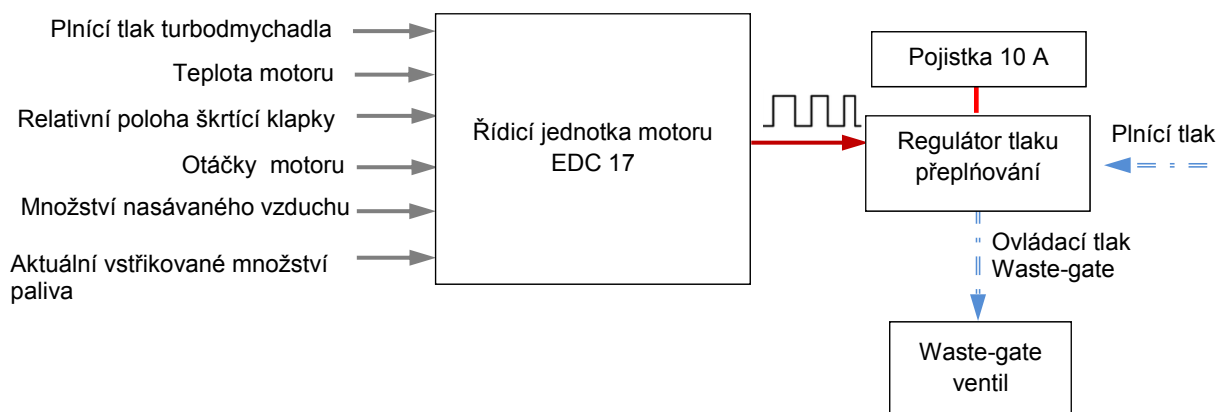
- Dosáhne-li reálný plnicí tlak úroveň požadovaného plnicího tlaku nastaveného řídicí jednotkou motoru (tzv. setpointu), prostřednictvím regulátoru plnicího tlaku dochází k otevření obtokového ventilu (waste-gate) a část výfukových plynů je odváděna obtokovým kanálem mimo turbodmychadlo. Turbína tak bude ještě poháněna zbytkovými plyny, zatímco výkon motoru bude strmě klesat.

- Množství energie získané z výfukových plynů a předané turbodmychadlu je regulováno geometrií lopatek turbodmychadla (VTG = variable turbine geometry)

Samotná regulace plnicího tlaku se skládá z následujících funkcí:

- určení požadované úrovně plnicího tlaku pro daný provozní stav motoru (tzv. „setpoint“)
- monitorování aktuální úrovně plnicího tlaku
- řízení v otevřené smyčce - regulace plnicího tlaku na základě odchylky požadované a aktuální úrovně plnicího tlaku
- stav vypnutí regulátoru plnicího tlaku

Požadovaná hodnota tlaku přepřňování je závislá na zatížení motoru (které je počítáno řídicí jednotkou motoru zejména v závislosti na otáčkách motoru, provozním režimu, množství nasávaného vzduchu, vstřikované dávky paliva, teplotě motoru a poloze plynového pedálu) a reálném stavu tlaku přepřňování. Ten je snímán snímačem tlaku přepřňování a porovnáván s požadovanou úrovní tlaku řídicí jednotkou, která zjištěnou regulační odchylku kompenzuje otevřením elektropneumatického měniče obtokového ventilu, nebo ovládáním lopatky turbodmychadla s proměnlivou geometrií.



Obr. 32: Schéma funkce regulace plnicího tlaku obtokovým ventilem (Waste-gate)

### 3.4 Řízení dodávky paliva

Řízení dodávky paliva se skládá z následujících funkcí:

**Stanovení základní dodávky paliva-** momentální požadovaný výkon vznětového motoru je z podstaty jeho činnosti regulován množstvím vstříknutého paliva. Dané množství bude závislé na momentálních otáčkách motoru a požadovaném výkonu odvozeném sešlápnutí plynového pedálu. Základní palivová mapa vychází z rastru RPM x APS. [6]

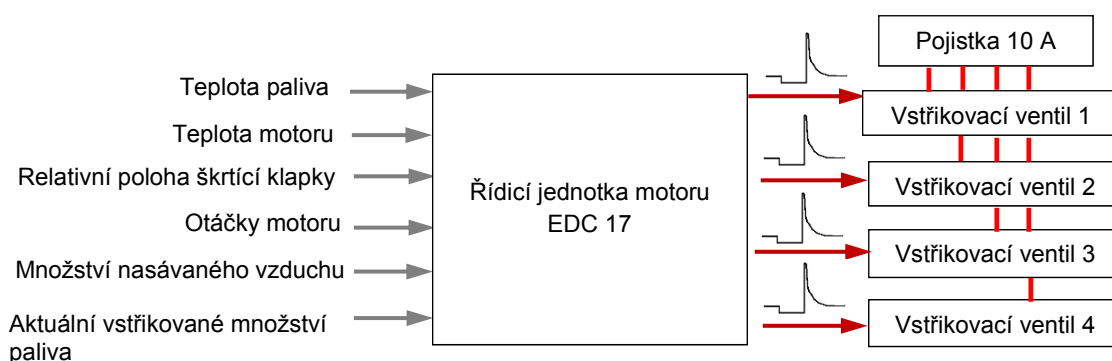
**Stanovení maximální přípustné dodávky paliva-** vzhledem k plněním emisních limitů bude korekce dodávky paliva prováděna na základě množství nasávaného vzduchu a vzhledem k tomu, že emisní chování motoru je závislé na momentálních otáčkách, maximální dodávka paliva bude limitována v rastru RPM x MAF. [6]

Při běhu motoru je nejprve podle mapy RPM x APS stanovena dávka paliva a následně zkontrolována její velikost podle mapy RPM x MAF. Bude-li dávka vyšší, dojde k jejímu snížení na maximální velikost. [6]

**Korekce dodávky paliva-** dodávku paliva je nutno korigovat podle:

- Teploty paliva - při vyšší teplotě dochází ke zvýšení objemu dodávky paliva, aby bylo možné kompenzovat změnu jeho hustoty
- Teploty motoru - při studeném motoru je nutné, pro dosažení stejného požadovaného výkonu v daném provozním bodě, vstříknout více paliva, protože u části paliva nedojde ke vznícení, ale kondenzaci na stěny válce a shoření později [6]

Stanovení předstřiku - okamžik předstřiku je stanoven na základě otáček motoru a na velikosti aktuálně vstříkované dávky paliva [6]



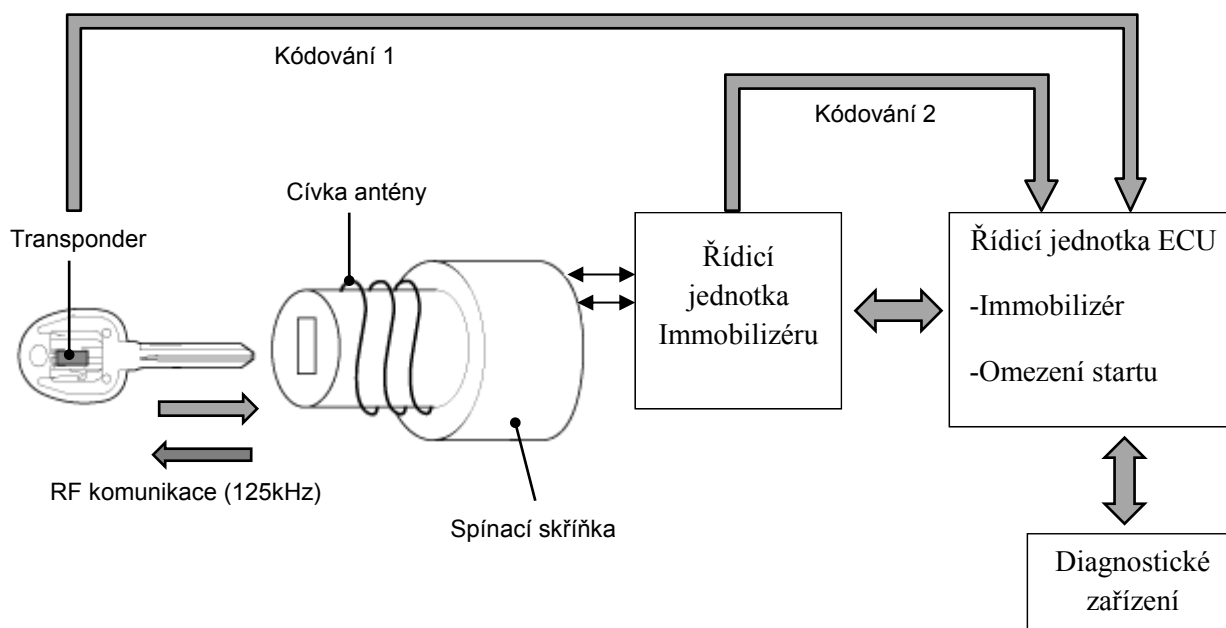
Obr. 33: Schéma funkce ovládání dodávky paliva

### 3.5 Omezení možnosti startu a běhu motoru

Omezení možnosti startu a běhu motoru prostřednictvím vstřikování paliva je u vznětových motorových vozidel základním elektronickým prvkem ochrany vozidla proti odcizení. Tato funkce spočívá v povolení vstřikování paliva na základě ověření věrohodnosti použitého klíče ke startu pomocí systému immobilizéru.

Systém immobilizéru (SMARTRA) se skládá z řídicí jednotky immobilizéru a dvou pasivních prvků pro ověření věrohodnosti klíče. Transpondéru, který je součástí klíče pro startování a antény umístěné v tělese spínací skříňky.

Na níže uvedeném obrázku je znázorněno schéma činnosti systému immobilizéru.



Obr. 34: Schéma činnosti systému ověření věrohodnosti klíče (immobilizér); zdroj:[12]str.1, autorem upraveno

Vložení klíče do spínací skříňky a otočením do polohy ON (kontakt 15) budí cívka antény transponder umístěný v zasunutém klíči, přijímá z něj signál a zasílá do jednotky Immobilizéru. Jedná se o bezdrátovou komunikaci o frekvenci 125 KHz. Tato data dále Smartra předává po komunikační lince řídicí jednotce motoru. Řídicí jednotka motoru tak prostřednictvím smartry komunikuje s transponderem a speciálním algoritmem ověřuje tzv. „vehicle specific data“, která jsou do transponderu uložena během procedury učení a jsou i v paměti řídicí jednotky motoru. Jedná se o tzv. kód ERN (Encrypted Random Number). Na základě porovnání těchto údajů ECU rozhoduje o věrohodnosti transponderu a dojde-li ke shodě těchto dat, ECU povolí vstřikování paliva pro nastartování a běh motoru.

## **4 Praktická realizace laboratorního modelu systému EDC se sběrnici CAN**

### **4.1 Úvod**

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, komunikační sběrnice jsou v současnosti nedílnou součástí moderních motorových vozidel. Vzhledem k faktu, že elektronika umožňuje plnit cíle kladené na moderní motorové vozidlo (bezpečnost, hospodárnost, jízdní komfort, nízké emise) a svým potenciálem otvírá nové možnosti v oblasti vývoje mechanických systémů, dá se předpokládat, že podíl elektroniky v motorovém vozidle se bude neustále zvyšovat. Z těchto důvodů je pro oblast autoelektroniky zcela nezbytné osvojit si základní principy komunikace systémů po datové sběrnici, v našem případě sběrnici CAN, která je v současné době nejrozšířenější sběrnici užívanou pro komunikaci systémů motorových vozidel.

Základní vlastnost realizovaného panelu je ta, že se jedná o samostatné přenosné testovací zařízení, na kterém lze provádět simulace a měření komunikační sběrnice bez nutnosti přítomnosti motorového vozidla v laboratoři. Pro jeho uvedení do provozu je zapotřebí pouze připojení stejnosměrného napětí 12V na napájecí svorky testovacího panelu. Po uvedení panelu do činnosti lze provádět základní výukové a testovací měření v oblasti sběrnice CAN, LIN a K-vedení pomocí sériového připojení diagnostického zařízení (diagnostický tester), pro které je zde připraven OBD konektor, či paralelního připojení měřicího zařízení (CAN analyzér, Osciloskop, emulátor signálů).

### **4.2 Volba elektronického systému vozidla Hyundai pro realizaci laboratorního panelu**

Základním krokem v návrhu laboratorního modelu bylo určit, který z funkčních elektronických systémů vozidla Hyundai i30 bude aplikován do podoby laboratorního panelu. Vzhledem k pozdějšímu využití laboratorního modelu pro měření a simulace bylo žádoucí zvolit takový elektronický systém, který svým rozsahem komponent a funkcí bude nabízet značené možnosti v zadávání laboratorních úloh, simulací a měření. Z tohoto hlediska se jevila jako ideální volba systému řízení vznětového motoru, nejrozsáhlejší a nejdůležitější elektronický systém motorového vozidla obsahující řídicí jednotku motoru, množství snímačů, akčních členů a funkcí.



### 4.3 Návrh rozměrů a konstrukce laboratorního panelu

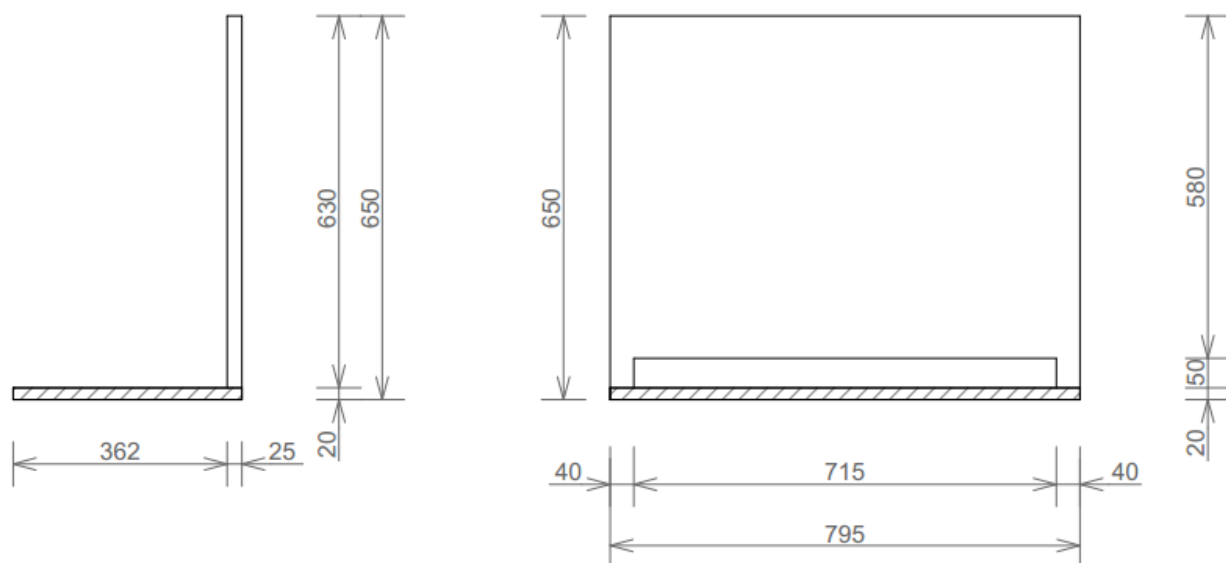
Při návrhu rozměrů a konstrukce laboratorního panelu byly brány v úvahu základní požadavky vyplývající z účelu realizovaného modelu:

- Malé rozměry realizovaného modelu vzhledem k možnosti pozdější manipulace.
- Vhodné rozmístění použitých komponent s dostatečným prostorem z důvodu provádění měření, nezbytného prostoru pro vedenou kabeláž, případné popisy součástek a v neposlední řadě i přehlednosti a celkového vzhledu panelu
- Stabilní konstrukce panelu se spodní podstavou a svislým uchycením komponent z důvodu lepší dostupnosti při měření.
- Dostatečně velká podstava zajišťující nejen stabilitu celé konstrukce panelu, ale sloužící také jako odkládací prostor při měření.
- Dostatečně pevná konstrukce rámu a nosné části pro uchyt těžkých komponent, které jsou součástí realizovaného modelu.

Pro splnění výše uvedených požadavků byla navržena konstrukce panelu ve tvaru L, kde spodní horizontální část má jak funkci podstavy, tak odkládacího prostoru pro obsluhu. Svislá, čelní část panelu je určena jako část nosná, která slouží pro uchycení komponent a propojovací kabeláže realizovaného elektronického modelu.

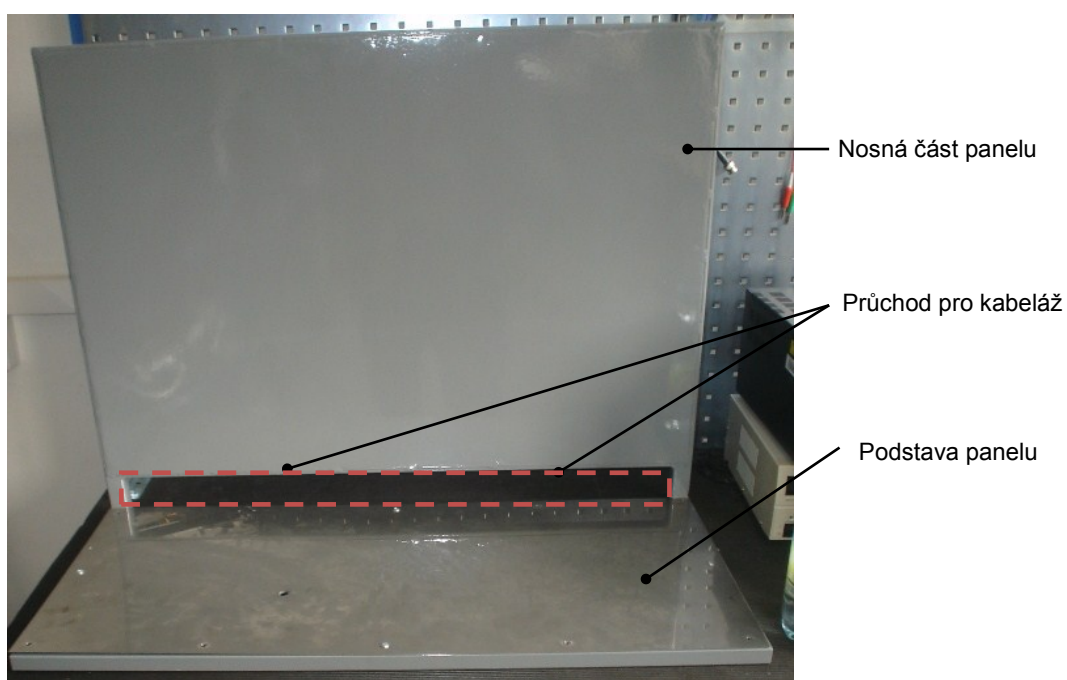
Na základě návrhu konstrukce a určení pozic komponent, které budou umístěny na svislou, nosnou část panelu, byl proveden návrh předběžného rozmístění jednotlivých součástek elektronického systému EDC a na základě tohoto návrhu byly určeny rozměry samotné nosné konstrukce panelu. Náčrtek panelu (obr. 35) uvádí navržené rozměry, které jak potvrdila samotná realizace, byly naprosto dostačující z hlediska rozsahu realizovaného modelu.

Vzhledem k faktu, že se realizovaný model skládá z mechanických součástí elektronického systému řízení motoru EDC, byly kladeny vysoké nároky na pevnost konstrukce nosného panelu. Z tohoto důvodu byl rám podstavy i nosné části svařen z železného obdélníkově profilovaného materiálu. Na vyhotovený rám nosné části byl dále přinýtován pozinkovaný plech o tloušťce 1mm. V případě podstavy panelu byl použit nerezový plech o stejné tloušťce, který je ke spodní části rámu přišroubován. Rám a svislý nosný plech byly nakonec natřeny šedou, vodou ředitelnou barvou.



Obr. 35: Návrh konstrukce simulačního panelu, Nárys, M 1:20

Fotografie (obr. 36) pod textem představuje již zhotovený panel, který je připraven na realizaci elektronického modelu.



Obr. 36: Zhotovený panel

#### 4.4 Realizace modelu elektronického systému řízení motoru EDC s CAN sběrnici

Cílem realizace bylo vytvořit takový model systému řízení motoru, který bude na základě simulovaných vstupních signálů, schopen plnit vybrané úkoly systému řízení EDC, přestože se nejedná o plnohodnotný systém řízení motoru, který je součástí elektrické soustavy motorového vozidla. Z hlediska pozdějšího využití modelu bylo žádoucí sestavit model z co nejvíce funkčních komponent daného systému, což umožnilo vytvořit komplexní výukovou pomůcku s velkým rozsahem možností vytváření laboratorních úloh a simulací.

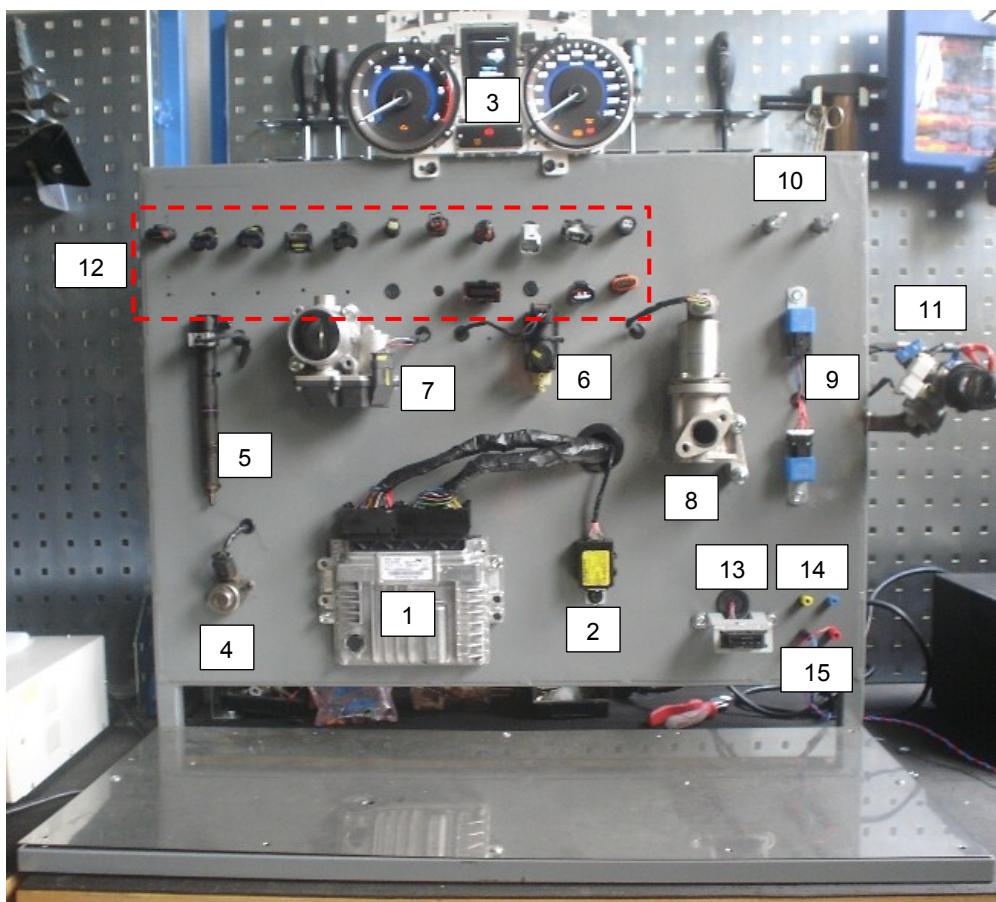
Pro realizaci elektronického modelu byly použity základní součásti moderního systému řízení vznětového motoru EDC. Seznam všech použitých komponent je uveden v tabulce 1. Dále byl do elektronického modelu zakomponován panel přístrojů (cluster), přestože není nezbytnou součástí systému řízení EDC. Vzhledem k faktu, že komunikace diagnostického zařízení s clusterem probíhá prostřednictvím BODY CAN sběrnice, aplikace panelu řízení (clusteru) zvětšuje rozsah využití modelu o sběrnici komfortních systémů. Panel přístrojů (cluster) zároveň slouží pro indikaci kontrolky, ukazatele rychlosti a otáček, což je žádoucí i pro systém řízení EDC.

Název součástky	Druh komponentu
Řídicí jednotka ECU	Řídicí jednotka
Řídicí jednotka immobilizéru	Řídicí jednotka
Cluster	Řídicí jednotka
Regulační ventil palivového čerpadla	Akční člen
Vstřikovací ventil	Akční člen
EGR ventil	Akční člen
Regulátor tlaku přeplňování	Akční člen
Škrticí klapka	Akční člen
Relé žhavení a relé startování	Akční člen
Indikační žárovky žhavení a startování	Akční člen
Spínací skříňka	Akční člen
Motorová kabeláž	Kabeláž
Konektory snímačů systému EDC	Kabeláž
OBD zásuvka s držákem	Kabeláž
Vývody napájení a komunikačních sběrnic	Kabeláž

*Tab. 1: Seznam použitých komponent pro realizaci elektronického modelu*

Vzhledem ke skutečnosti, že model představuje systém řízení motoru EDC zapojený mimo elektrickou soustavu motorového vozidla, nebylo by bez soustavy immobilizéru možné vstupními signály simulovat běh motoru a sledovat chování akčních členů při tomto stavu (např. vstřikování paliva), což by značně omezovalo demonstrativní a výukové možnosti realizovaného modelu. Z tohoto důvodu bylo žádoucí rozšířit elektronický model o systém immobilizéru. Po aplikování systému immobilizéru na realizovaném panelu bylo dále nutné provést proces učení tzv. ERN kódu pomocí diagnostického zařízení. Proces učení i ověření správnosti funkce systému immobilizéru na realizovaném modelu je jednou z náplní následující kapitoly.

Komponenty byly na panel připevněny rozebíratelným spojením (šroubováním), aby je bylo možné v případě potřeby jednoduše demontovat. Použitá kabeláž motoru pro propojení součástek byla zcela zbavena izolace, stahovacích pásek a úchyťů. Jednotlivé vodiče byly dle schématu popsány a dle potřeby zkráceny. Vyvrtaným otvorem pro hlavní svazek vedoucí od řídicí jednotky motoru byla kabeláž vyvedena do zadní části panelu a na přední část již byly vedeny pouze potřebné větve s konektory určené k simulaci vstupů ze snímačů, či k samotnému připojení na jednotlivé komponenty. Na přední část panelu byly dále vyvedeny zdířky CAN sběrnice, OBD konektor pro připojení diagnostického zařízení a vstupy pro napájení. Napájení modelu je zajištěno z externího zdroje napětí, který se připojí na vyvedené zdířky pro napájení. Panel se uvede do provozu sepnutím spínací skříňky do polohy ON (kontakt 15), čímž dojde k přivedení napětí na veškeré součástky elektronického modelu.



*Obr. 37: Realizovaný elektronický model systému EDC se sběrnici CAN*

- [1] - Řídicí jednotka motoru
- [2] - Řídicí jednotka immobilizéru
- [3] - Panel přístrojů (Cluster)
- [4] - Regulační ventil pal. čerpadla
- [5] - Vstřikovač 4. Válce
- [6] - Regulátor tlaku přeplňování
- [7] - Škrtková klapka
- [8] - EGR ventil
- [9] - Relé žhavení a startování

- [10] – Indikátory žhavení a startování
- [11] - Spínací skříňka
- [12] - Vstupy pro snímače
- [13] - OBD konektor
- [14] - Zdířky CAN sběrnice
- [15] - Zdířky pro připojení napájení

V zadní části panelu je veden hlavní svazek kabeláže modelu, a také jsou zde umístěny uzly (tzv. joint connectory), kterými je rozváděno napájení, zemění a sběrnice.

Vzhledem k tomu, že zadní strana panelu není určena k laboratorním účelům a zásah do vedení kabeláže nesmí provádět neoprávněná osoba, bylo nutné ji opatřit ochranným krytem. Základním požadavkem bylo zajistit jednoduchý, lehce odnímatelný kryt, který zajistí dostatečný prostor pro kabeláž pod ním a zároveň nechá otevřený prostor po stranách panelu z důvodu vedení kabeláže ke spínací skříňce a panelu přístrojů.

Z tohoto důvodu byl navržen jednoduchý způsob uchycení zadního krytu vytvořený ze čtyř matic přivařených do rohů nosné části základního rámu. Jako zadní kryt byla použita tenká dřevěná deska, která byla v rozích provrtána a přitáhnuta šrouby do přivařených matic. Na obrázku č. 38 můžeme vidět již zakrytou zadní část panelu pomocí zadního krytu



*Obr. 38: Kryt vedení kabeláže v zadní části realizovaného panelu*

## 5 Experimentální ověření realizovaného modelu

Realizovaný model nabízí široké možnosti využití pro měření a zadávání laboratorních úloh v oblasti analýzy sběrnice CAN, LIN, K-vedení. V rámci ověření funkčnosti modelu byly realizovány zkušební měření popsané v následujících podkapitolách.

### 5.1 Ověření vlastností modelu pomocí sériové diagnostiky

Výrazem sousloví sériová diagnostika se v automobilovém opravárenství rozumí vyhledávání závad prostřednictvím řídicí jednotky daného systému. Princip tohoto druhu diagnostiky je založen na komunikaci diagnostického zařízení s řídicí jednotkou vozu přes sériové rozhraní v podobě konektoru sloužícího právě pro tento účel. [11]

Pro ověření vlastností modelu pomocí sériové diagnostiky byly použity dvě nezávislá diagnostická zařízení. V prvním případě se jednalo o diagnostický tester s názvem G-Scan od Jihokorejské firmy GiT, která je výhradním dodavatelem diagnostických zařízení pro společnost Hyundai a KIA. Jako druhé diagnostické zařízení byl použit diagnostický modul KTS 540, který je součástí zařízení FSA 740, dodávaného firmou BOSCH.



Obr. 39 – Použitá diagnostická zařízení - G-scan (vlevo), FSA 740 (vpravo); zdroj:[10] str.1, [9]str.1

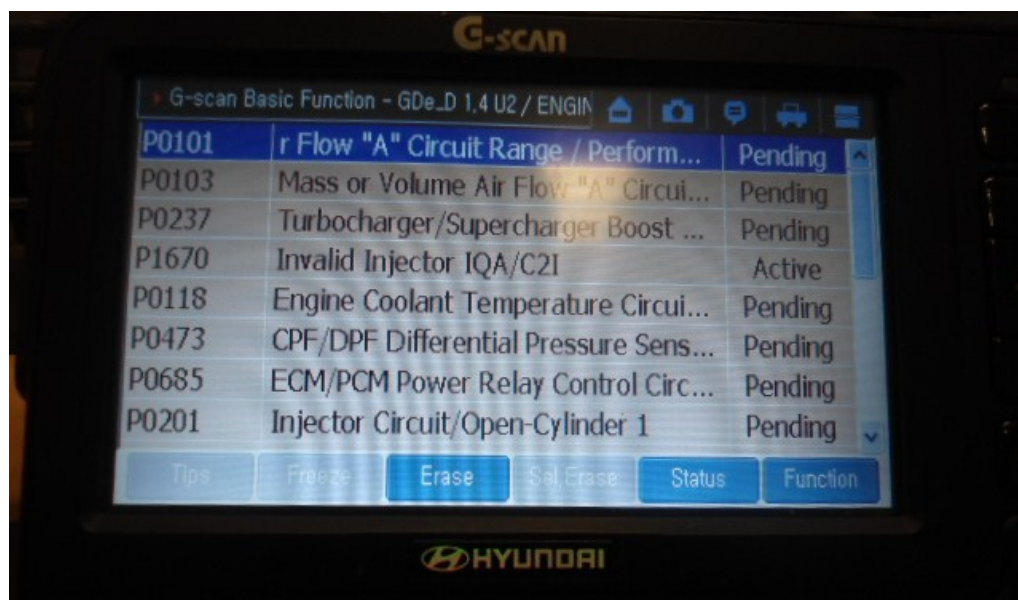


### 5.1.1 Spojení s řídicí jednotkou motoru (ECU)

V rámci ověření komunikace s řídicí jednotkou motoru byly s jednotlivými diagnostickými zařízeními provedeny následující kroky:

#### a) Vyčtení výpisu paměti závad

Paměť závad byla úspěšně vyčtena oběma použitými diagnostickými zařízeními. U Zařízení G-scan, originálního diagnostického testeru značky Hyundai, byla komunikace s řídicí jednotkou motoru navázána prostřednictvím protokolu CCP (Can Communication Protocol), u zařízení FSA pomocí funkce OBD-II, podporující výpis paměti závad řídicí jednotky motoru (Blok 1). Výpis paměti závad vykázal množství chybových hlášení (viz obr.40). Tato chybová hlášení však potvrzují správnost činnosti řídicí jednotky motoru. Vzhledem k tomu, že se řídicí jednotka motoru nachází mimo elektrickou soustavu motorového vozidla, rozpoznává otevřené smyčky a chybějící provozní informace od odpojených snímačů, ostatních řídicích jednotek, či zpětné vazby akčních členů, které nebylo možné realizovat v rámci elektronického modelu.



Obr.40: Vyčtení paměti závad řídicí jednotky motoru

Značnou část chybových hlášení by bylo možné odstranit simulací vstupních signálů snímačů na příslušné vstupy řídicí jednotky, což může být jeden z návrhů na laboratorní úlohu pro realizaci ve výuce, či zpracování ve větším rozsahu v rámci jiné bakalářské práce.

#### b) Zobrazení měřených hodnot pro vybraný snímač

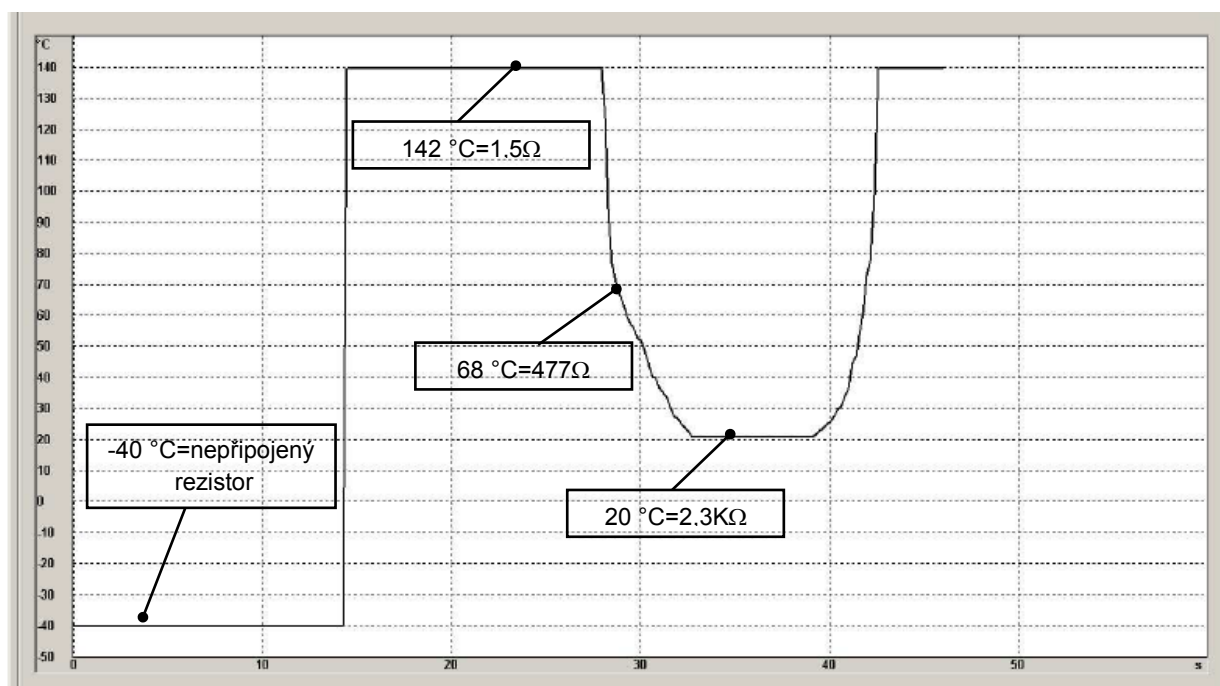
V rámci ověření funkčnosti zobrazení měřených hodnot řídicí jednotky motoru bylo nutné provést simulaci vstupu zvoleného snímače, který bude zobrazen.

### ➤ Snímač teploty chladicí kapaliny

Jak již bylo popsáno v druhé kapitole, základem tohoto snímače je teplotně závislý měřicí rezistor se záporným teplotním koeficientem. Nezapojený vstup snímače byl tedy nahrazen proměnným rezistorem TESLA 280b 60A.

Obrázek č.41 graficky znázorňuje průběh měřené hodnoty vyčtené z řídicí jednotky motoru. Úroveň sledovaného signálu zpočátku odpovídá úrovni  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což je výchozí úroveň řídicí jednotky pro nulový signál snímače teploty chladicí kapaliny. V našem případě to znamenalo nezapojený snímač. Po připojení proměnného rezistoru byl patrný nárůst teploty na úroveň  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což odpovídá hodnotě odporu  $1,5\text{ }\Omega$ . Otáčením jezdce proměnného rezistoru docházelo ke zvyšování odporu až na hodnotu  $2,3\text{ K}\Omega$ , což odpovídá teplotě  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dosažení nižších teplot však již nebylo možné vzhledem k rozsahu proměnného rezistoru, který byl mnohem menší, než je skutečný rozsah snímače teploty chladicí kapaliny. Na základě měření bylo zjištěno, že s klesajícím odporem roste vyčtená hodnota teploty z řídicí jednotky, což potvrdilo, že charakteristika řídicí jednotky pro snímač teploty chladicí kapaliny má záporný teplotní koeficient.

Měření bylo provedeno zařízením FSA 740, které je ,narozdíl od příručního zařízení G-scan, vybaveno počítačem s operačním systémem Windows, což umožňuje jednoduché zobrazení oken měření a jejich následné zpracování.



Obr. 41: Simulace signálu snímače teploty chladicí kapaliny pomocí proměnného rezistoru



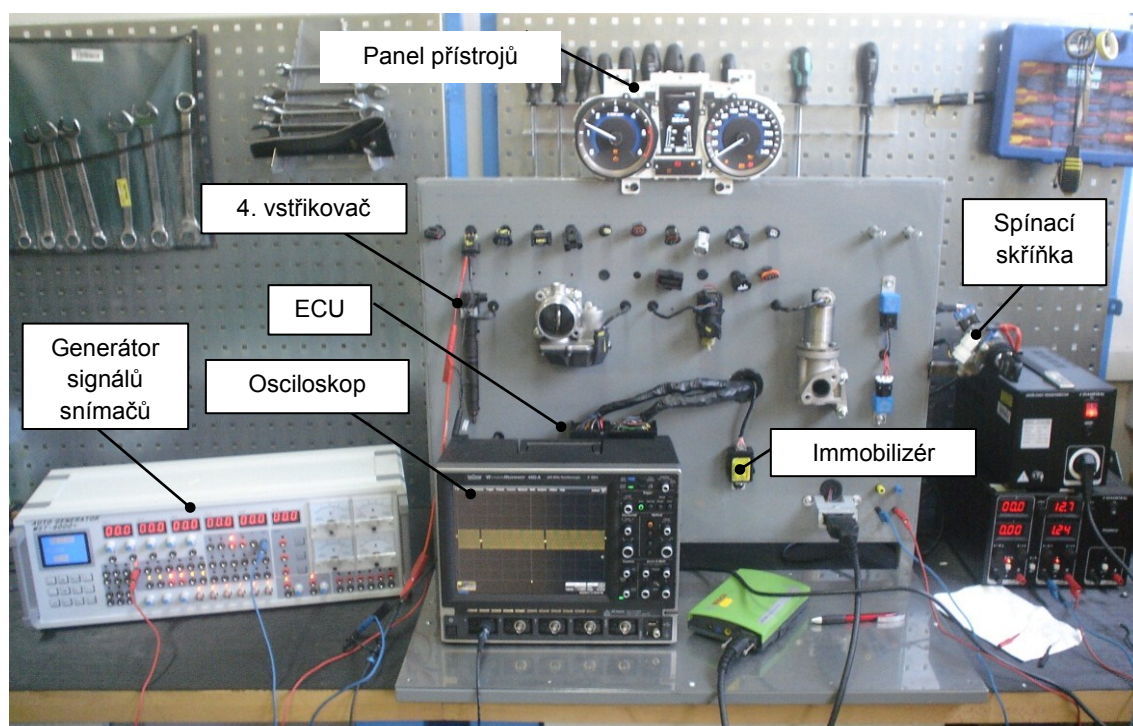
➤ Snímač otáček klikové hřídele

Pro generování sinusového signálu namísto induktivního snímače otáček klikové hřídele vozidla Hyundai i30 nové generace byl použit generátor signálů snímačů řídicí jednotky ECU MST 9000+. Základem pro simulaci signálu vybraného snímače bylo správné nastavení generátoru signálu na základě počtu zubů setrvačníku motoru 1. 4 U2 vozidla Hyundai i30 a velikosti referenční značky (počet vynechaných zubů) označující píst 1.válce motoru v horní úvratí. Oba tyto údaje jsou důležité pro správné rozpoznání signálu řídicí jednotkou motoru. Na základě zjištěné specifikace motoru byl nastaven sinusový signál otáček motoru se specifikací 58+2 (58 zubů na setrvačníku + 2 vynechané zuby jako referenční značka) a výchozí frekvenci 1900 Hz.

Přivedením signálu otáček motoru z generátoru impulsu na vstup řídicí jednotky motoru došlo k simulaci otáčejícího se motoru. Díky funkčnímu systému immobilizéru, který je součástí realizovaného elektronického modelu, řídicí jednotka motoru povolila dopravu paliva a začala ovládat připojený vstřikovač č. 4, který je součástí modelu. Aktuální simulovaná hodnota otáček motoru byla zároveň zobrazena otáčkoměrem na panelu přístrojů, který tuto informaci získává z řídicí jednotky motoru prostřednictvím sběrnice CAN.

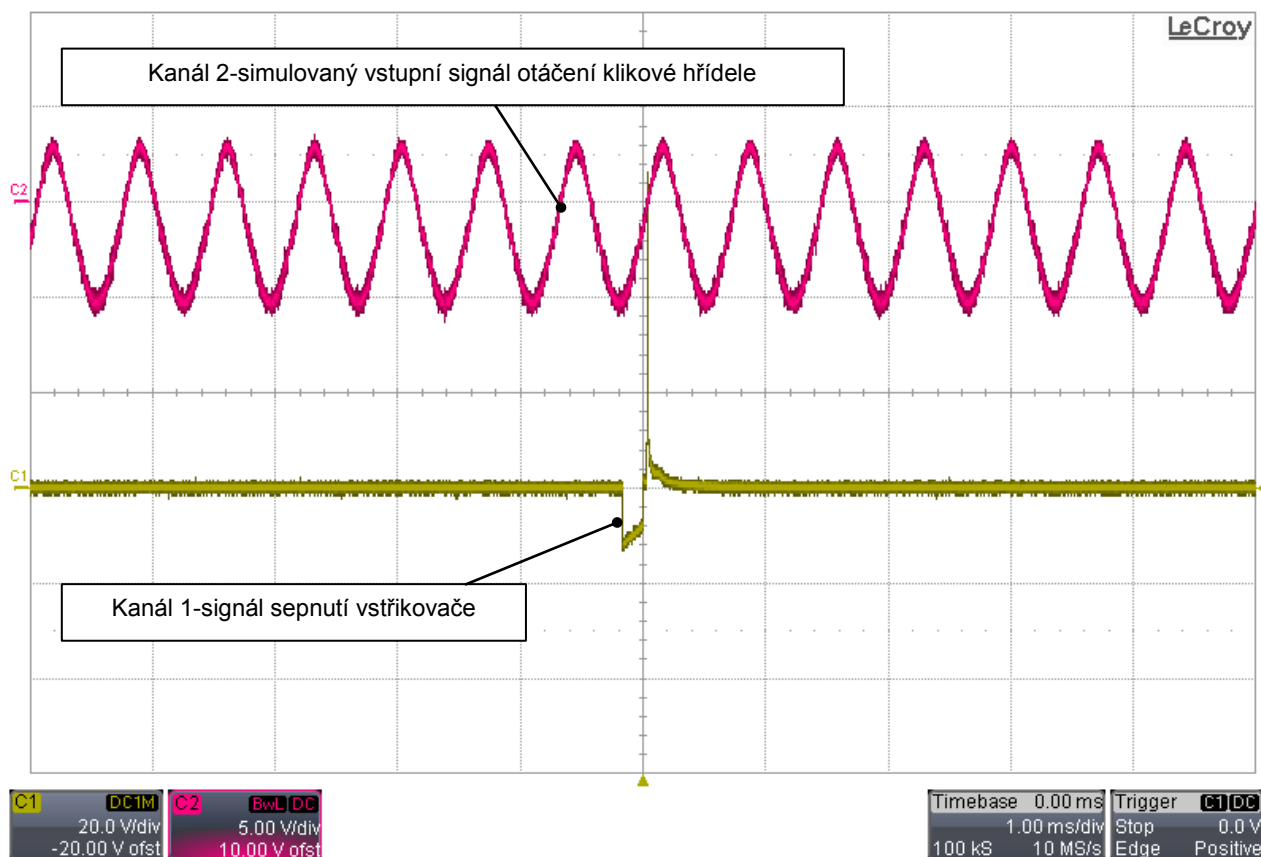
Při této simulaci byl simulován pouze vstupní signál otáčení klikové hřídele, ostatní signály snímačů nebyly simulovány. Bylo tedy potvrzeno, že pouze signál o otáčkách motoru je zcela nezbytný pro uvedení motoru do činnosti. Touto simulací byla zároveň ověřena správná činnost systému immobilizéru v rámci realizovaného modelu a dále správná komunikace řídicí jednotky ECU a panelu přístrojů připojenou sběrnici CAN.

Níže uvedený obrázek zachycuje zmíněné měření s použitím potřebných laboratorních přístrojů.



Obr. 42: Provádění simulace vstupního signálu otáček na realizovaném panelu

Zachycený průběh z osciloskopu LeCroy představuje měření dvou signálů pomocí jednotlivých kanálů osciloskopu. Kanál 2 (fialový průběh) představuje přiváděný vstupní signál otáčení klikové hřídele simulovaný generátorem signálu. Kanál 1 (žlutý průběh) ukazuje napětový signál naměřený na připojeném vysokoimpedančním vstřikovači.



Obr. 43: Průběhy z testu simulace otáček motoru zachycených osciloskopem

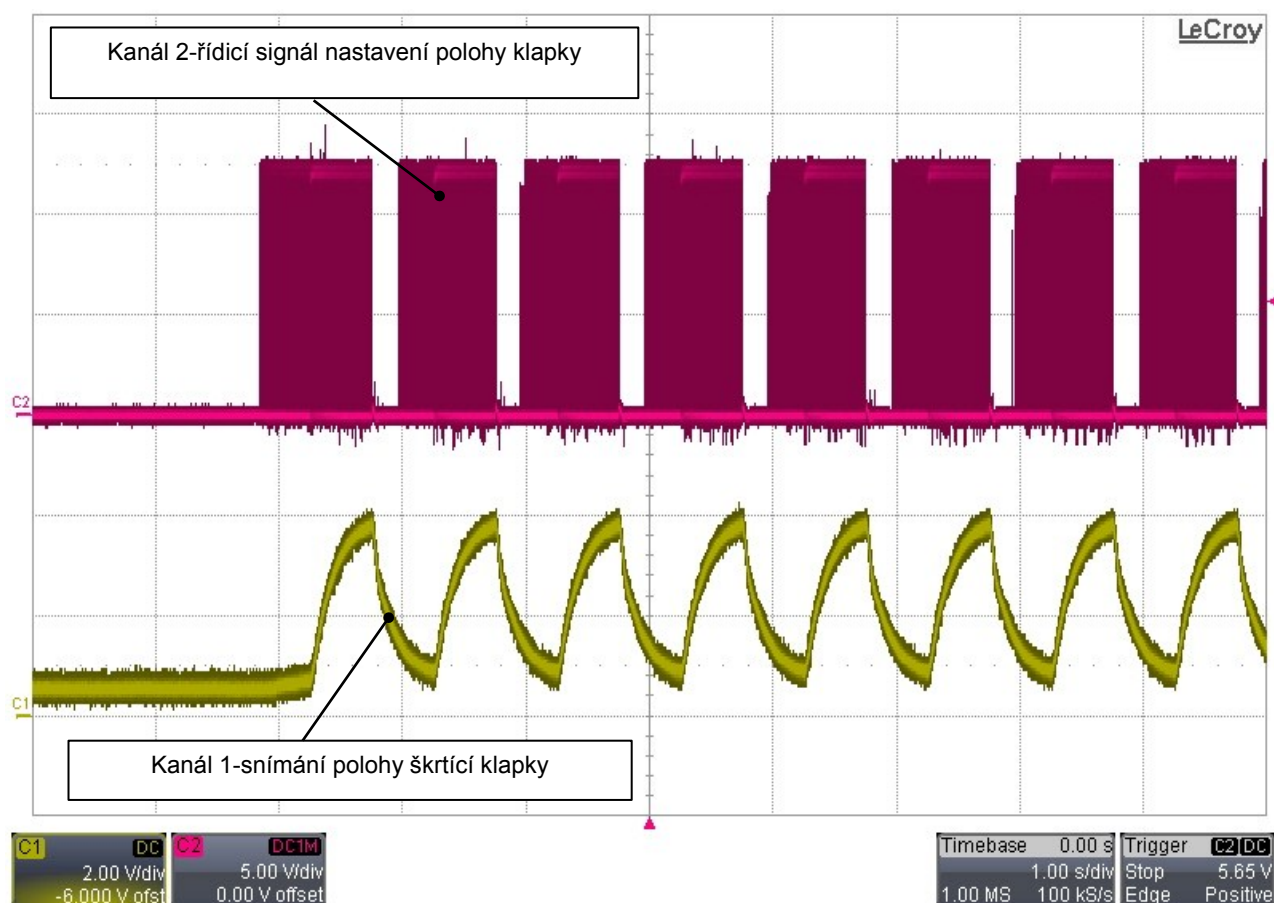
### c) Test funkce vybraných akčních členů při současném sledování řídicích signálů osciloskopem

Ověření funkce akčních členů spočívalo v jejich aktivaci prostřednictvím diagnostického zařízení G-scan funkcí „Actuation test“, čímž dochází ke spínání jednotlivých akčních členů řídicí jednotkou motoru. Řídicí signály akčních členů byly sledovány připojeným osciloskopem.

#### ➤ Test funkce škrtkové klapky

Aktivování škrtkové klapky přes funkci testu akčních členů proběhlo bez problémů. Během testu řídicí jednotka provádí otevření škrtkové klapky v plném rozsahu (0-100%) v opakujících se cyklech. Kromě potvrzení činnosti chodu škrtkové klapky vizuální kontrolou odpovídají chodu klapky i níže zobrazené signály, měřené pomocí osciloskopu.

Zobrazená kopie obrazovky osciloskopu se skládá ze dvou signálů. Kanál 2 (fialový signál) znázorňuje řídicí PWM napětí, kterým řídicí jednotka motoru ovládá servomotorek škrticí klapky a nastavuje požadovanou polohu. Kanál 1 (žlutý signál) představuje výstupní signál z potenciometru škrticí klapky, udávající její polohu.

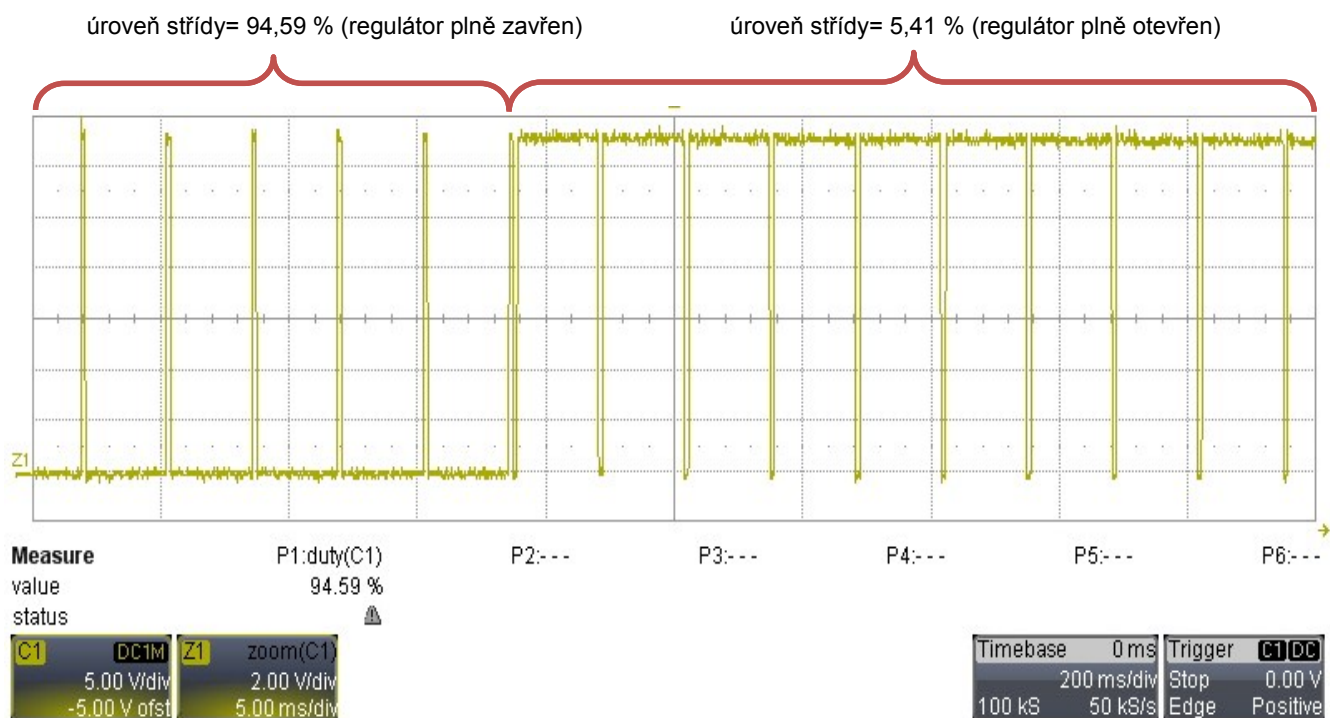


Obr. 44: Průběhy zachycené osciloskopem při testu škrticí klapky

#### ➤ Test regulátoru tlaku přepřínování

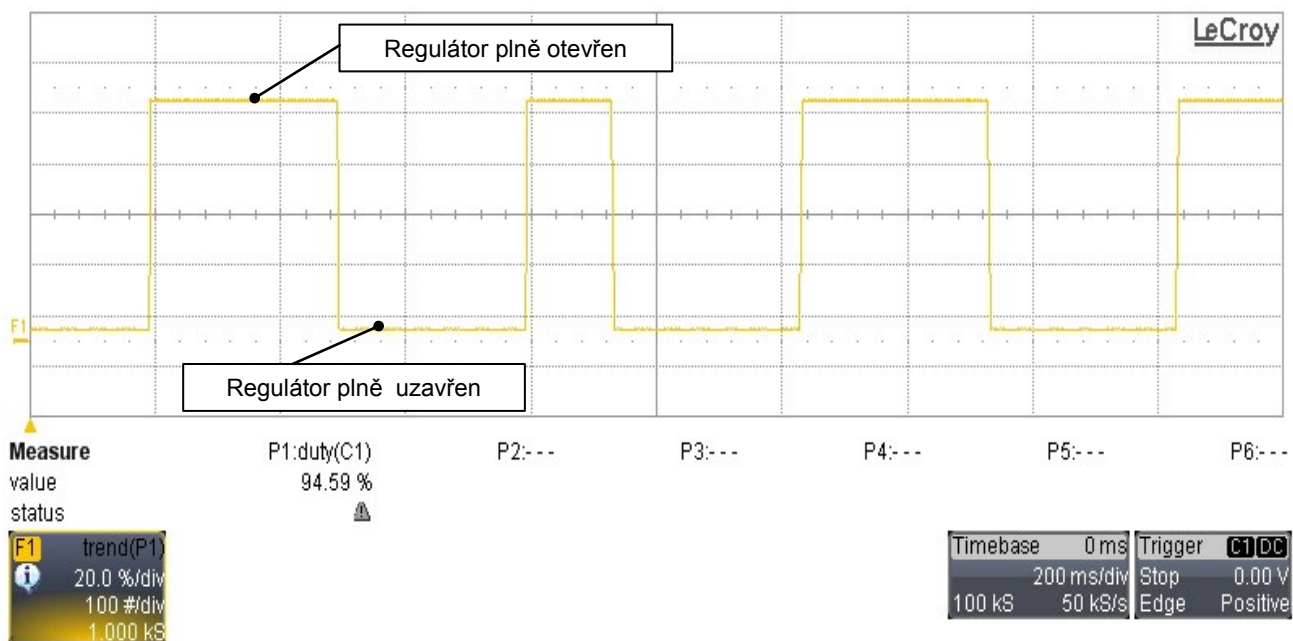
Postup testování probíhal identicky jako u předchozího akčního čenu, škrticí klapky. I v případě testu regulátoru tlaku přes test akčních členů řídicí jednotka motoru střídá stavy plného otevření a zavření v opakujících se periodických cyklech.

Ve vložené kopii obrazovky osciloskopu je zobrazeno řídicí PWM napětí, jehož změnou střídý (duty cycle) řídicí jednotka reguluje velikost otevření regulátoru tlaku. V levé části signálu je patrná úroveň střídý 94,59%, což odpovídá plně zavřenému ventilu. V oblasti grafu P2 je zachycen přechod regulátoru ze stavu plného otevření do stavu plného zavření. To je způsobeno skokovou změnou střídý řídicího signálu řídicí jednotkou motoru na úroveň 5,41%.



Obr. 45: Řídicí PWM napětí regulátoru tlaku přepínání

Celkový poměr přechodů plného otevření a zavření regulátoru během testovacího cyklu zachycuje kopie obrazovky níže.



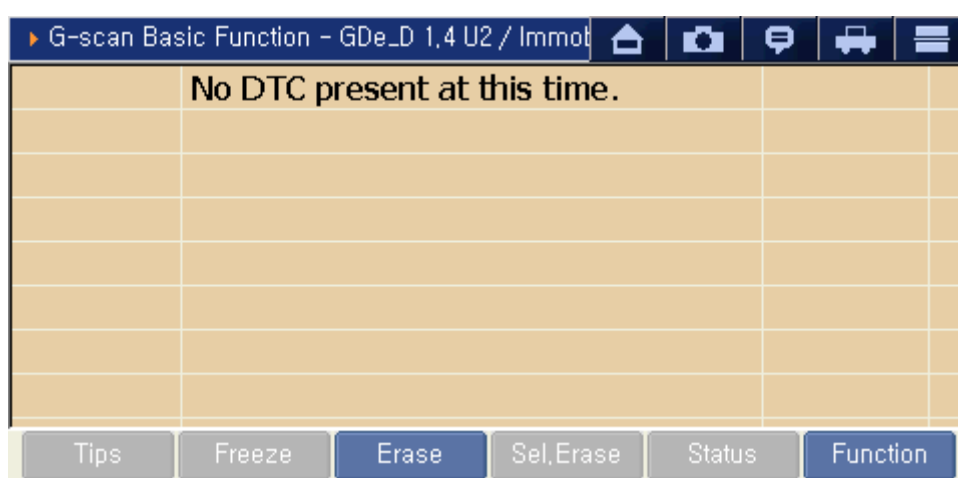
Obr. 46: Trend střidy řídicího PWM napětí regulátoru tlaku přepínání

### 5.1.2 Spojení s řídicí jednotkou systému immobilizéru

Postup pro ověření komunikace s řídicí jednotkou immobilizéru byl obdobný jako v případě řídicí jednotky motoru. V rámci ověření komunikace s řídicí jednotkou immobilizéru byly provedeny následující kroky:

#### a) Vyčtení paměti závad

Pro vyčtení paměti závad řídicí jednotky immobilizéru bylo použito originální diagnostické zařízení G-scan, které umožňuje komunikaci s řídicí jednotkou immobilizéru prostřednictvím K-vedení. Obr. č.47 ukazuje úspěšné navázání spojení s immobilizérem a paměť závad bez chybových hlášení.



Obr. 47: Zobrazení paměti závad řídicí jednotky immobilizéru

#### b) Zobrazení měřených hodnot

Protože součástí systému immobilizéru nejsou žádné snímače, funkce zobrazení měřených hodnot slouží pouze ke zjištění stavu naučení potřebných komponent systému. Pro správnou funkci systému je nezbytné, aby byly dané komponenty tzv. „spárovány“ tzn. naučeny pro jeden platný kód ERN (Encrypted Random Number).

V případě aplikování systému immobilizéru do elektronického modelu EDC bylo po zapojení komponent a zprovoznění modelu nutné provést proces učení systému immobilizéru. Proces učení se provádí diagnostickým zařízením, v našem případě zařízením G-scan. Během tohoto procesu dojde k uložení námi zadaného šestimístného ERN kódu do transpondéru v klíči, řídicí jednotky immobilizéru a řídicí jednotky motoru. Zpětný proces neutralizace jednotlivých komponent je možný pouze u řídicích jednotek, Smartry (immobilizér) a čídicí jednotky motoru. Paměť transpondéru umožňuje z důvodu bezpečnosti pouze zápis dat, ne však její vymazání či přepsání.





## 6 Závěr

Tato bakalářská práce byla cíleně směřována na problematiku sběrnice CAN a elektronické řízení moderního vznětového motoru. CAN Sběrnice, jakožto nejrozšířenější druh datového vedení používaného v motorových vozidlech, je neodmyslitelným komunikačním kanálem elektronických systémů u všech moderních motorových vozidel. Tato problematika je však, i přes svou důležitost v autoelektronice vcelku přehlížena, zejména v oblasti diagnostiky elektronických systémů motorových vozidel. Přestože se povědomí o problematice analýzy CAN sběrnice neustále zvyšuje, můžeme se v oboru autoelektroniky i nadále setkat s názory a teoriemi popisujícími tuto sběrnici jako tzv. „černou skříňku“. Z tohoto důvodu jsem chtěl v rámci bakalářské práce realizovat simulaci na modelu elektronického systému motorového vozidla, která mi pomůže lépe pochopit problematiku datové sběrnice CAN. Nejdůležitějším a nerozšířenějším systémem motorového vozidla z hlediska řízení je systém řízení vznětového motoru EDC. Logickou volbou tedy bylo zkoumat funkci a činnost sběrnice CAN právě na systému řízení EDC.

Pro základní představu a pochopení významu automobilové elektroniky v oblasti řízení motoru byla úvodní část bakalářské práce věnována jejímu vývoji, požadavkům, nárokům kladeným na ni a možnostem, které moderní elektronika motorových vozidel nabízí. Dále bylo popsáno datové vedení vozidla hyundai i30, jehož sběrnice CAN je rozdělena na tzv. CAN-CHASSIS (CAN sběrnice pro hnací ústrojí) a tzv. CAN-BODY (CAN sběrnice komfortních systémů), které jsou z důvodu rozdílných přenosových rychlostí propojeny pomocí tzv. jednotky GATEWAY. Pro správné pochopení činnosti realizovaného modelu je důležité obdržet základní informace o problematice systému EDC. Rozsáhlá teoretická část tedy byla věnována právě popisu tohoto systému, jeho základních úloh, rozdělení na jednotlivé bloky a popisům komponent, které tyto bloky obsahují. Z množství funkčních principů, které tento systém obsahuje, byly blíže specifikovány pouze ty funkce, které souvisí s realizovaným modelem a jejich pochopení je tedy nutné i pro praktickou část této práce.

Praktická část bakalářské práce se zabývala návrhem, realizací a ověřením funkčnosti elektronického modelu. Při samotném návrhu designu a rozměrů konstrukce panelu byl kladen důraz na dostatek prostoru pro měření a skladnost celého panelu z důvodu manipulace. Tvar konstrukce do písmene L umožňuje, že podstava panelu zároveň slouží jako odkládací prostor pro napájecí či měřicí zařízení a navržené rozměry dovolují bezproblémový převoz elektronického modelu v zavazadlovém prostoru osobního vozidla. Z důvodu lepší orientace na pracovní části modelu byl zvolen dostatečný prostor mezi jednotlivými komponenty. Z důvodu úspory místa a zachování přehlednosti pracovní části panelu byl hlavní svazek řídící jednotky motoru vyveden do zadní části panelu a z něj byly zpět vyvedeny do přední části pouze jednotlivé větve kabeláže pro snímače a akční členy. Zadní část panelu s propojovacím svazkem byla zakryta vyhotoveným odnímatelným krytem. V rámci ověření funkčnosti modelu bylo provedeno ověření komunikace zapojených řídících jednotek vyčtením paměti závad, dále byla ověřena činnost akčních členů a zobrazení měřených hodnot pomocí sériové diagnostiky. Pomocí připojeného osciloskopu byla zobrazena řídící napětí pro ovládání akčních členů, jenž byla následně zpracována a zahrnuta do praktické části. V rámci analýzy sběrnice pomocí osciloskopu a USB/CAN převodníku CAN byla navržena a vypracována vzorová laboratorní úloha, kterou je možné provést na realizovaném laboratorním modelu. Výše uvedená měření potvrdila správnost funkce elektronického modelu.

Elektronický model, zkonstruovaný v rámci této bakalářské práce, je samostatné přenosné měřicí stanoviště, které umožňuje provádění simulace a analýzy elektronického systému motorového vozidla bez nutnosti přítomnosti motorového vozidla v učebně, či hrozby destrukce elektronických systémů či komponent výukového vozidla. Přivedením napájení na vstupní svorky tohoto panelu a zapnutím spínací skříňky do polohy ON se elektronický model uvede do činnosti. Poté lze provádět základní výukové a testovací měření v oblasti sběrnice CAN, LIN a K-vedení pomocí sériového připojení diagnostického zařízení (diagnostický tester), pro které je zde připraven OBD konektor, či paralelního připojení měřicího zařízení (CAN analyzér, osciloskop, emulátor signálů). Vzhledem k možnosti realizace mnoha různých variant měření může vytvořené stanoviště nalézt široké uplatnění ve výuce předmětu Automobilová elektronika.



## Použitá literatura

### Knihy

- [1] Feger J. *Elektronická regulace vznětových motorů EDC*. 1. vyd. Stuttgart: Robert Bosch GmbH 2001. 95 s. ISBN 80-903132-4-8
- [2] Grosser M. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. 1. vyd. Plochingen: Robert Bosch GmbH 2004. 95 s. ISBN 80-903132-7-2
- [3] Hájek, O. *Diagnostika dat v moderních řídicích jednotkách motorů*. Brno, 2010. 48s. Diplomová práce na fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Aleš Prokeš, Ph. D.
- [4] Jičínský Š. *Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a. s. 2006. 238 s. ISBN 80-247-1417-5
- [5] Schaefer U. *Mikroelektronika v motorových vozidlech*. 1. vyd. Stuttgart: Robert Bosch GmbH 2001. 91 s. ISBN 80-903132-2-1
- [6] Štěrbá P.; Čupera J. *Autoelektronika*. 1.vyd. Brno: Computer Press, a. s. 2010. 280 s. ISBN 978-80-251-2414-7
- [7] Zabler E. *Snímače v motorových vozidlech*. 1. vyd. Stuttgart: Robert Bosch GmbH 2001. 148 s. ISBN 80-903132-5-6

### Internetové zdroje

- [8] <http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/predmety/x38ssl/CANPopis.pdf> [cit. 2013-05-02]
- [9] <http://www.bosch.fr/rechange/index2.asp?menu=m-1&ssmenu=s-8>[cit. 2013-04-20]
- [10] [http://www.diagobd.com/pro\\_list.asp?id=429](http://www.diagobd.com/pro_list.asp?id=429) [cit. 2013-04-20]
- [11] <http://www.h-diag.cz/news/seriova-diagnostika> [cit. 2013-04-20]
- [12] [http://www.hemannual.com/components\\_and\\_components\\_location-2271.html](http://www.hemannual.com/components_and_components_location-2271.html)[cit. 2013-04-10]
- [13] [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241BOZEK/publikace/2008/2008\\_021\\_01.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241BOZEK/publikace/2008/2008_021_01.pdf) [cit. 2013-03-04]
- [14] <http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/predmety/x38ssl/CANPopis.pdf> [cit. 2013-05-02]

### Firemní literatura

- [15] *BDE MED7 lektor*. Robert Bosch GmbH, 2006. 142s.
- [16] *Diesellové motory*. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 1999. 22 s.
- [17] *Diesel\_prehled*. Robert Bosch GmbH, 2007. 51s.
- [18] *EDC*. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2007. 186 s.

- [19] *20\_TDI\_PD\_100\_103\_12*. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2007. 116 s.
- [20] *Vstřikování benzinových motorů*. Hamburg Leagas: Delaney GmbH, 2008. 160s.
- [21] *Zpětné vedení výfukových plynů*. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2007. 2 s.

## **Přílohy**

P1 – Návrh zadání a realizace vzorové laboratorní úlohy analýzy sběrnice CAN s využitím realizovaného modelu (str. 50-56)

P2 – Fotodokumentace vytvořeného měřicího stanoviště (str. 57-59)

P1 – Návrh zadání a realizace vzorové laboratorní úlohy analýzy sběrnice CAN s využitím realizovaného modelu

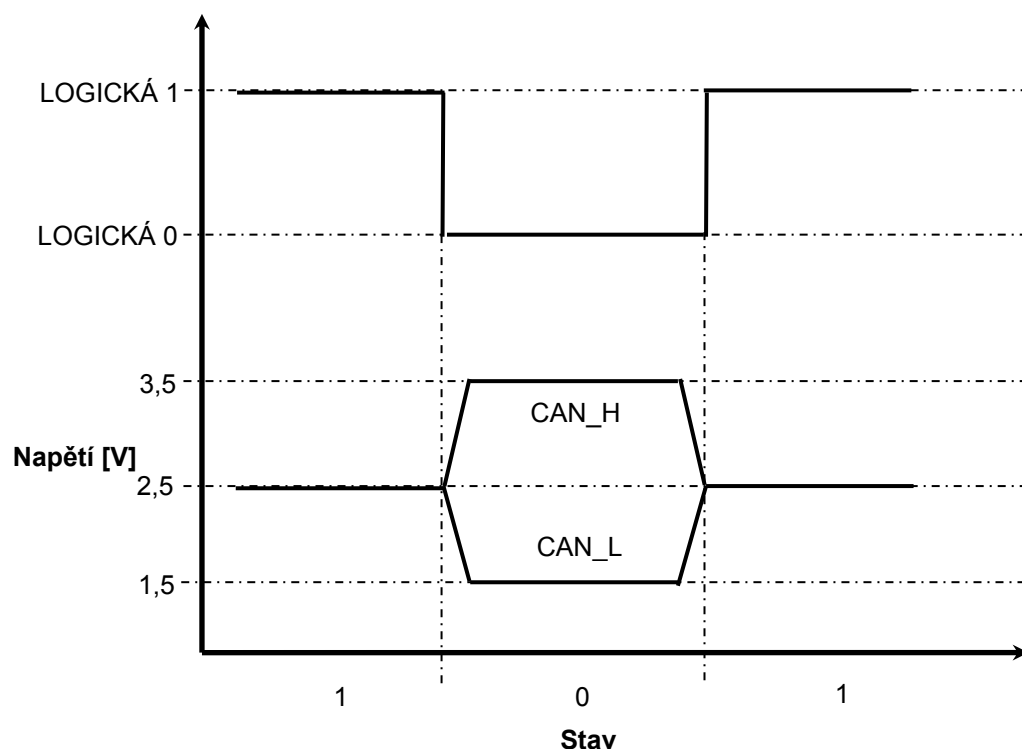
<b>VŠB-TU Ostrava</b>		<b>Katedra elektrických měření</b>		<b>Fakulta elektrotechniky a informatiky</b>
Datum měření: 2.5.2013		<b>1</b>	<b>Měření a analýza datové sběrnice CAN-Chassis</b>	Studijní skupina:
Datum odevzdání:	Hodnocení:			Jméno a příjmení 1. studenta:
				Jméno a příjmení 2. studenta:

### **Měření a analýza datové sběrnice CAN-Chassis**

1. V rámci výukového stanoviště č. proveďte základní ověření vlastností fyzické vrstvy sběrnice CAN-chassis pomocí osciloskopu.
2. Na tomto výukovém stanovišti dále nasimulujte proměnlivý vstupní signál snímače teploty chladicí kapaliny, jehož datová informace na sběrnici bude dále analyzována.
3. Pomocí USB/CAN převodníku proveďte analýzu CAN sběrnice. Určete datovou zprávu obsahující informaci o teplotě chladicí kapaliny, proveďte její analýzu a vypište seznam datových zpráv nacházejících se na sběrnici.

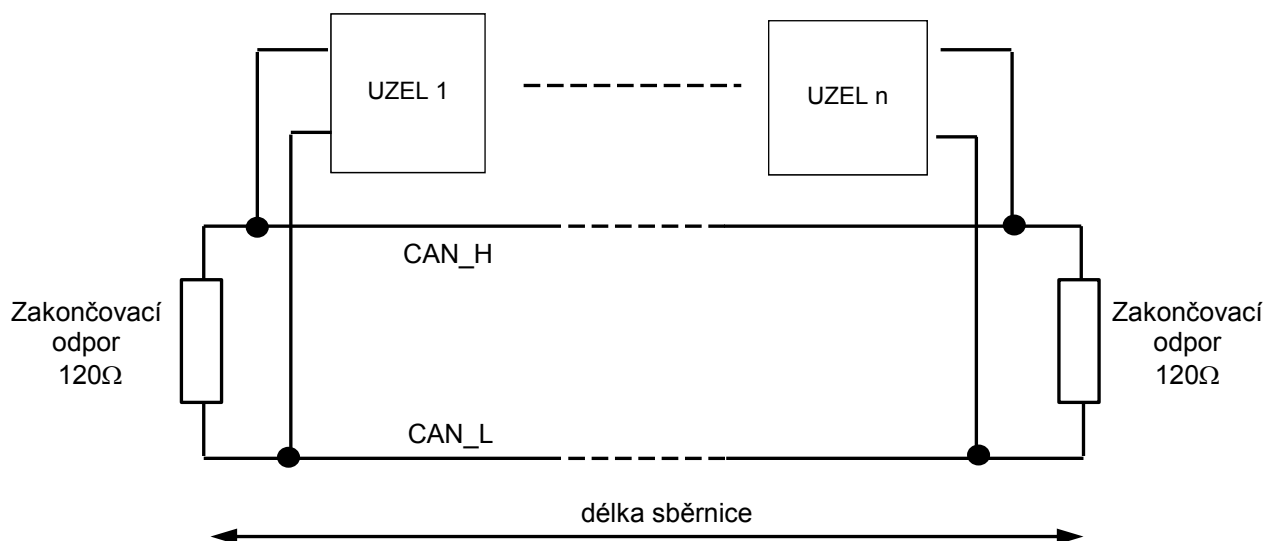
#### **Teoretický rozbor-Fyzická vrstva sběrnice CAN**

Fyzické přenosové médium protokolu CAN realizuje funkci logického součinu. Standard protokolu CAN definuje dvě vzájemně komplementární hodnoty bitů na sběrnici - dominant a recessive. Jedná se v podstatě o ekvivalent logických úrovní, blíže obrázek 1. [14]



*Obr. 1 – Fyzická vrstva CAN sběrnice*

Pro realizaci fyzického přenosového média se nejčastěji používá diferenciální sběrnice definovaná podle normy ISO 11898. Tato norma definuje jednak elektrické vlastnosti vysílacího budiče a přijímače a zároveň principy časování, synchronizace a kódování jednotlivých bitů. Jak ukazuje obrázek 2, sběrnici tvoří dva vodiče (označované CAN\_H a CAN\_L), kde dominant či recessive úroveň na sběrnici je definována rozdílovým napětím těchto dvou vodičů. Dle nominálních úrovní uvedených v normě je pro úroveň recessive velikost rozdílového napětí  $V_{diff} = 0V$  a pro úroveň dominant  $V_{diff} = 2V$ . Pro eliminaci odrazů na vedení je sběrnice na obou koncích přizpůsobena zakončovacími odpory o velikosti  $120\ \Omega$ . [14]



Obr. 2– Principiální struktura sítě CAN ; zdroj: [14]str.2, autorem upraveno

Na sběrnici může být čistě teoreticky připojeno neomezené množství uzlů, avšak s ohledem na zatížení sběrnice a zajištění správných statických i dynamických parametrů sběrnice norma uvádí jako maximum 30 uzlů připojených na sběrnici. Maximální délka sběrnice je pro přenosovou rychlost 1Mbit/s udána normou 40m. Pro jiné přenosové rychlosti délku sběrnice norma neudává, avšak lze logickým úsudkem dojít k závěru, že pro nižší přenosové frekvence bude maximální délka sběrnice větší. [14]

## Vypracování laboratorního cvičení

### Použité přístroje a pomůcky:

Osciloskop - LeCroy 60 MHz wave ace 101

Laboratorní zdroj  $\pm 15V$

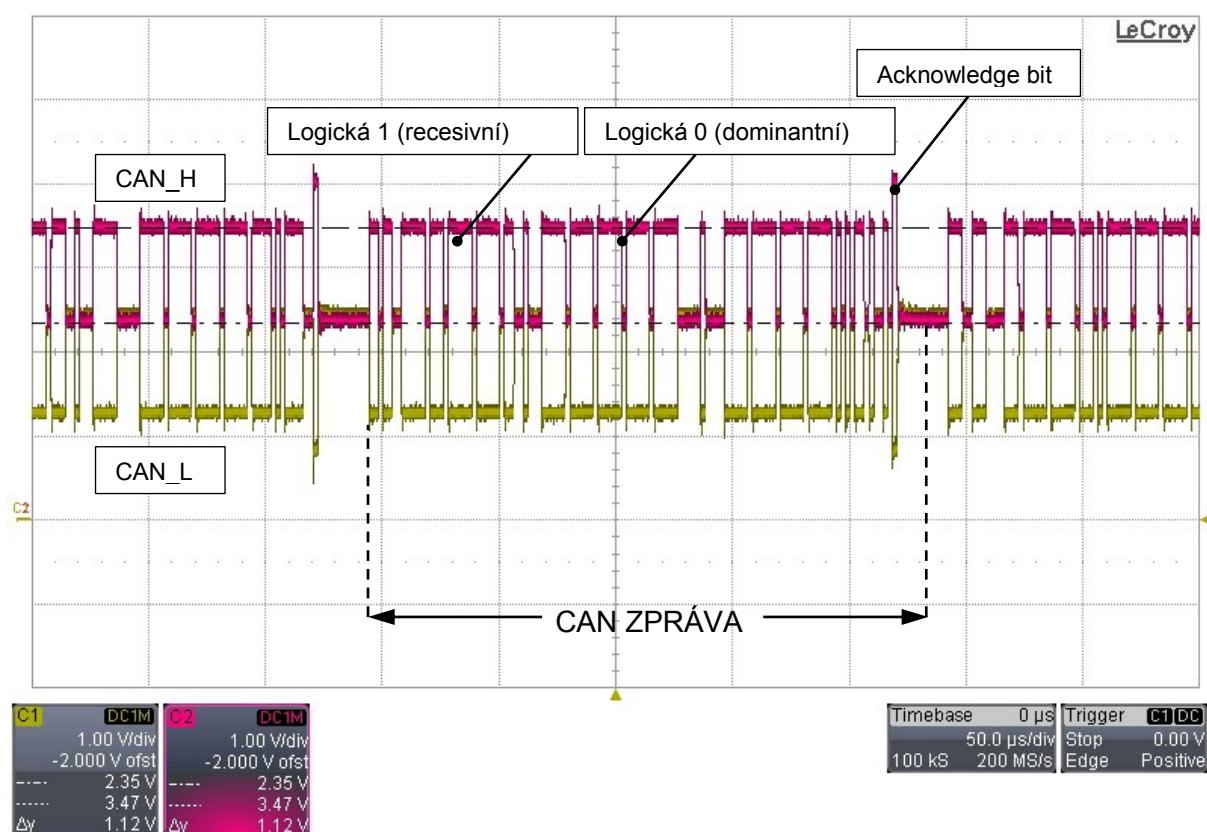
proměnným rezistorem TESLA 280b 60A

USB/CAN převodník Cancase XL + softwarová aplikace Canalyzer pro 7.2

### 1. V rámci výukového stanoviště č. proveďte základní ověření vlastností fyzické vrstvy sběrnice

#### CAN-chassis pomocí osciloskopu.

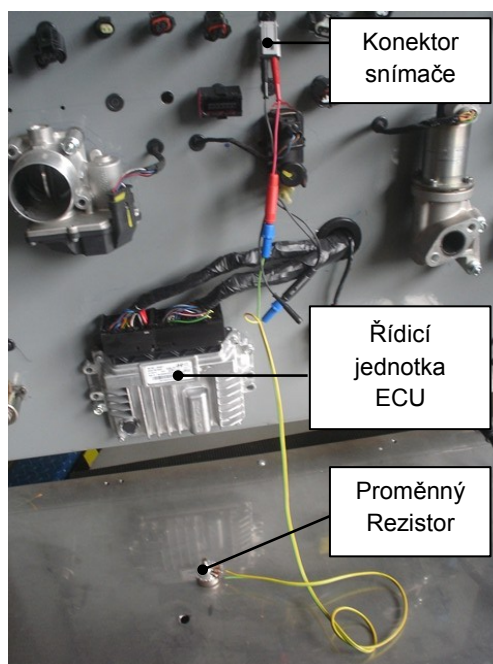
Připojením testovacího panelu na laboratorní zdroj, nastavením výstupního napětí 12,5V a proudového omezení na 5 A, zapnutím klíče do polohy ON (kontakt 15) byl elektronický panel uveden do činnosti. Poté byla provedena analýza fyzické vrstvy sběrnice CAN pomocí osciloskopu. Vyobrazená CAN zpráva byla analyzována a popsána dle teoretického rozboru v zadání.



Obr. 3 – Analýza CAN zprávy v rámci laboratorního cvičení

**2. Na tomto výukovém stanovišti dále nasimulujte proměnlivý vstupní signál snímače teploty chladicí kapaliny, jehož datová informace na sběrnici bude dále analyzována.**

Dalším úkolem bylo provést simulaci vstupního signálu snímače teploty chladicí kapaliny do řídicí jednotky ECU. Vzhledem k faktu, že základem tohoto snímače je teplotně závislý měřící rezistor se záporným teplotním koeficientem, byl nezapojený vstup snímače nahrazen proměnným rezistorem TESLA 280b 60A. Tento druh proměnného rezistoru má rozsah odporu  $1,5\Omega - 2,3K\Omega$ , což přibližně odpovídá rozsahu odporu snímače teploty chladicí kapaliny.



*Obr. 4 – simulace vstupního signálu snímače v rámci laboratorního cvičení*

**3. Pomocí USB/CAN převodníku provedte analýzu CAN sběrnice. Určete datovou zprávu obsahující informaci o teplotě chladicí kapaliny, provedte její analýzu a vypište seznam datových zpráv nacházejících se na sběrnici.**

Před zahájením měření bylo nutné zvolit použitý kanál pro komunikaci a nastavit příslušnou přenosovou rychlost sběrnice (v našem případě 500Kb/s). Připojení USB/CAN převodníku na sběrnici bylo zajištěno prostřednictvím OBD konektoru, ve kterém je CAN-BUS vyveden.

Prostřednictvím funkce „trace“ programu Canalyzer Pro 7.2 byla v reálném čase sledována probíhající komunikace na sběrnici. Změnou hodnoty odporu na vstupu řídicí jednotky motoru docházelo k úměrné proměně hodnoty charakterizující úroveň teploty chladicí kapaliny na CAN sběrnici. Tímto způsobem byla rozpoznána CAN zpráva obsahující tuto informaci, i konkrétní pozice bitu, který ji charakterizuje. Funkcí „logging“ byla zachycena komunikace CAN sběrnice do textového souboru, který byl následně analyzován.

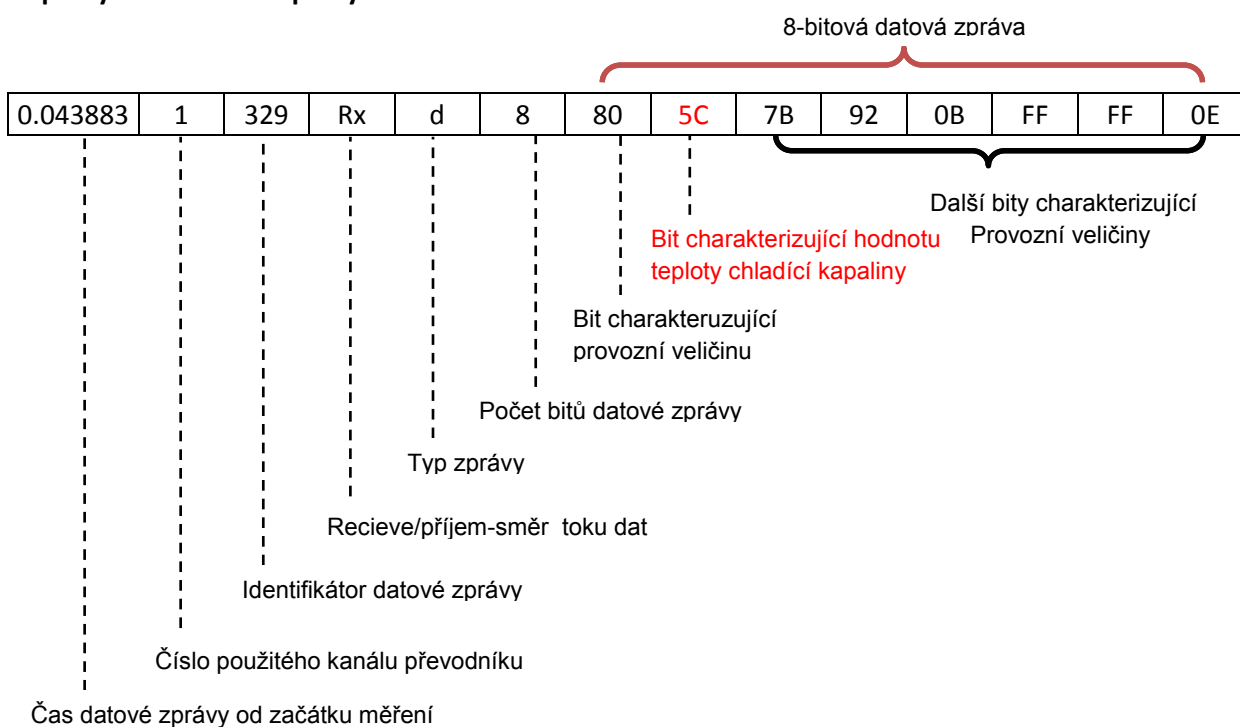


V rámci analýzy sběrnice CAN byly dále vypsaný datové zprávy nacházející se na sběrnici a provedena analýza vybrané datové zprávy.

0.023149	1	A0	Rx	d	8	0	3D	0	0	0	0	0	0
0.023389	1	18F	Rx	d	8	C3	FB	0	0	C0	78	0	0
0.023633	1	260	Rx	d	8	0	0	0	0	0	5E	0	0D
0.023867	1	329	Rx	d	8	80	5C	7B	92	0B	FF	FF	0E
0.024109	1	545	Rx	d	8	CF	0	0	7D	0	0	0	0
0.032938	1	316	Rx	d	8	29	0	0	0	0	1C	0	4E

Tab. 1 – Výpis datových zpráv na sběrnici CAN elektronického modelu

#### Popis vybrané datové zprávy:



Tab. 2 – Popis vybrané CAN zprávy

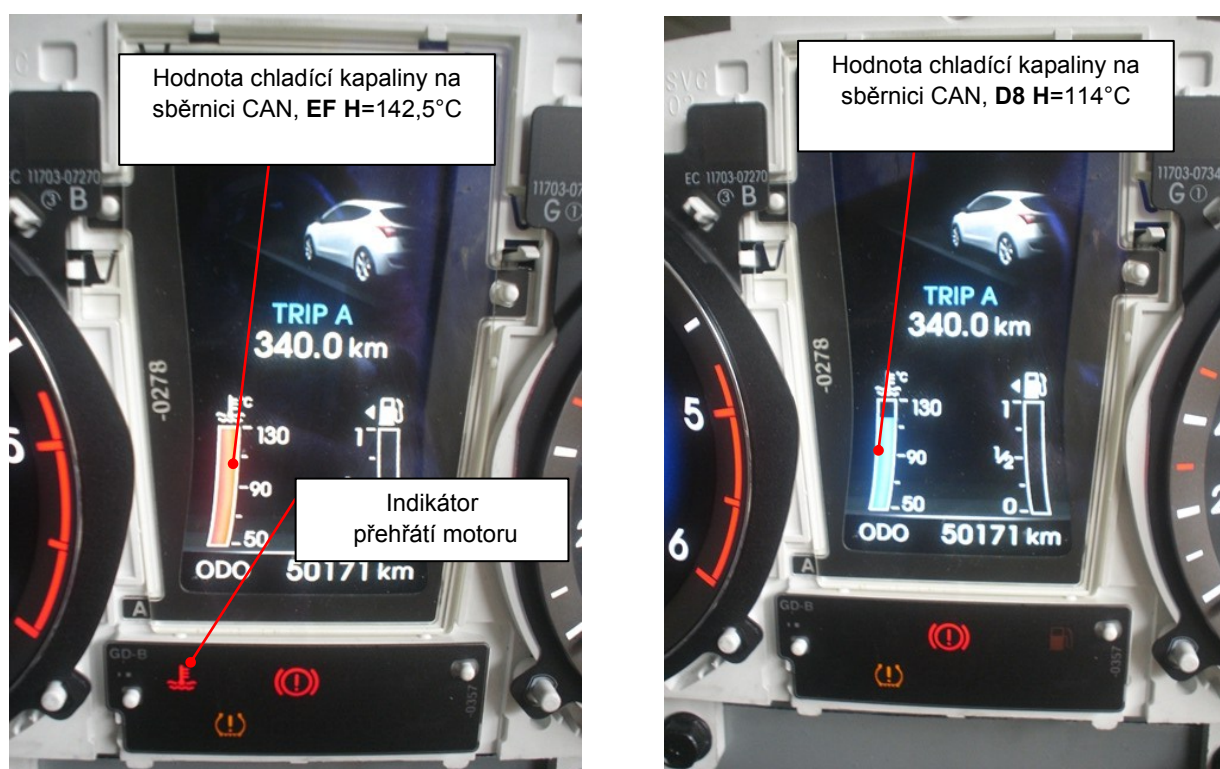
Výše uvedená datová zpráva obsahuje také informaci o teplotě chladící kapaliny. Hodnota 5C (hexadeximální tvar) však přímo neudává informaci o teplotě, ale tento údaj je dále přepočten algoritmem řídicí jednotky ECU. Hodnota **5C** tedy představuje teplotu 21°C.

Pro názornost si také uvedme datovou zprávu s informací o teplotě chladicí kapaliny odpovídající hexadecimální hodnotě EF (zvýrazněná červeně), což odpovídá maximální teplotě 142,5°C.

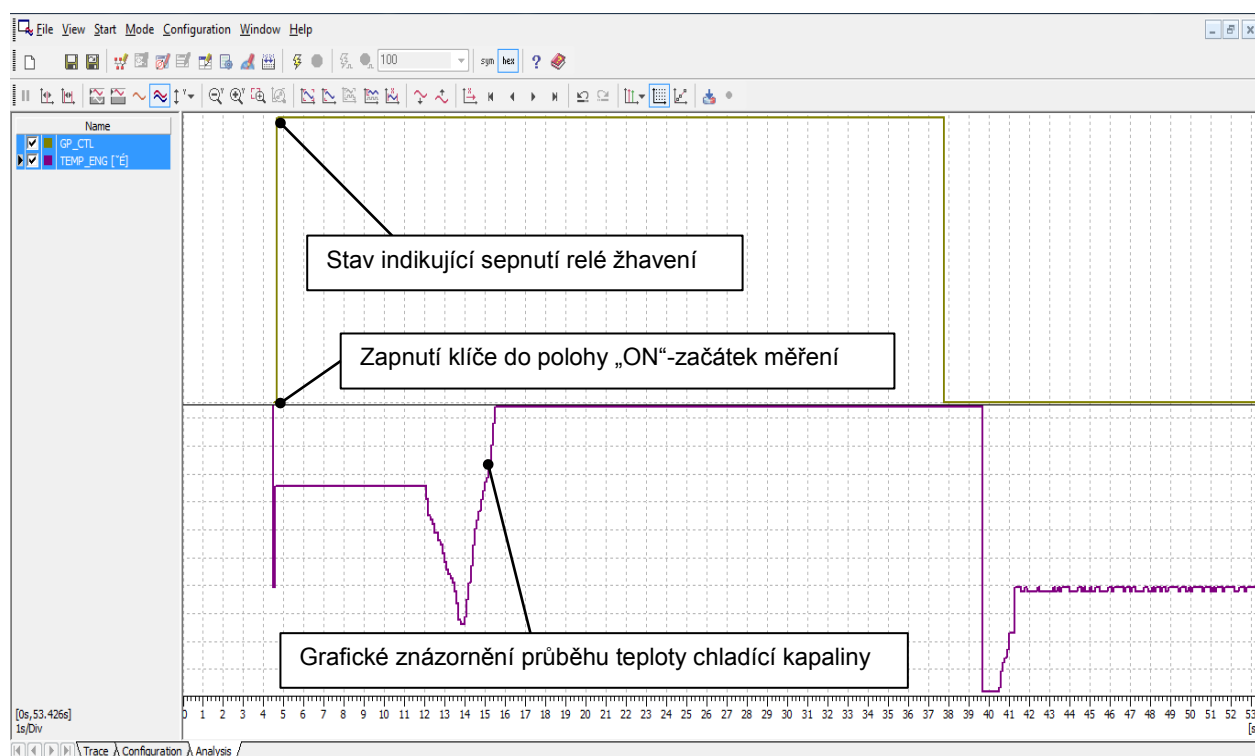
40.343931	1	329	Rx	d	8	81	EF	7B	92	0B	FF	FF	0E
-----------	---	-----	----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Tab. 3 – CAN zpráva obsahující informaci o teplotě chladicí kapaliny

Změnu úrovně teploty chladicí kapaliny v čase bylo možné sledovat pomocí funkce „analysis“ v aplikaci CANalyzer (obrázek 6) a vizuálně kontrolovat na panelu přístrojů, jehož součástí je ukazatel teploty chladicí kapaliny. Panel přístrojů totiž přijímá tuto informaci prostřednictvím sběrnice CAN a na základě toho zobrazuje na ukazateli teploty.

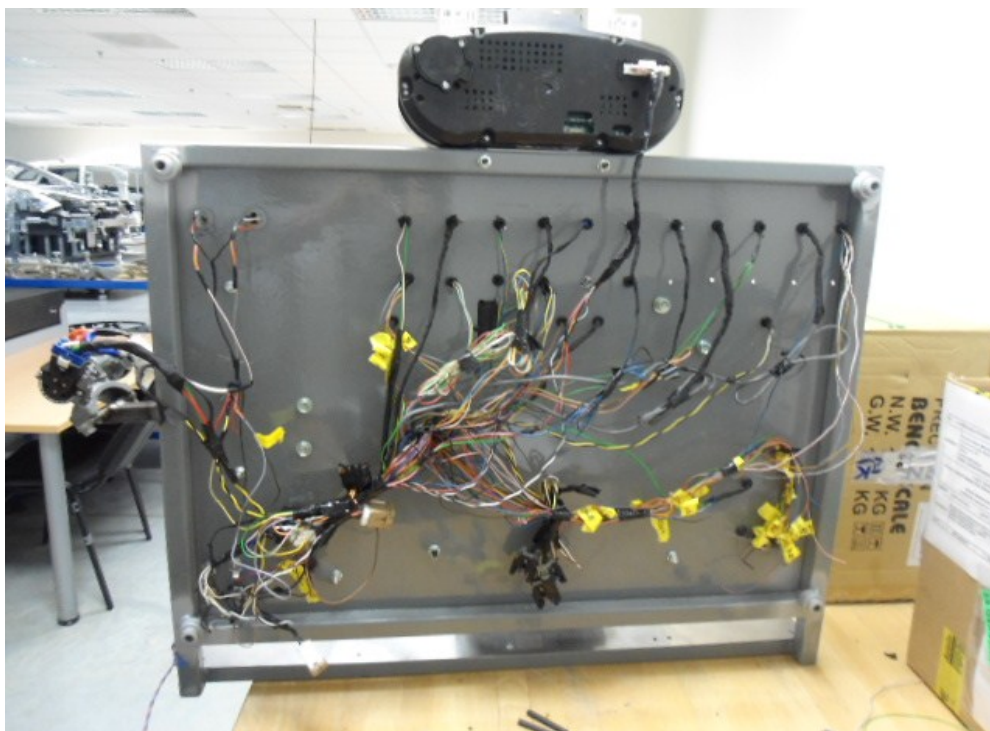


Obr. 5 – Ukazatel teploty chladicí kapaliny řízený na základě informace z CAN sběrnice



Obr. 6 – grafické znázornění změny úrovně hodnoty chladicí kapaliny na CAN sběrnici v čase

## P2 – Fotodokumentace vytvořeného měřicího stanoviště



*Obr. 7 – Fotografie zapojování kabeláže v zadní části panelu*

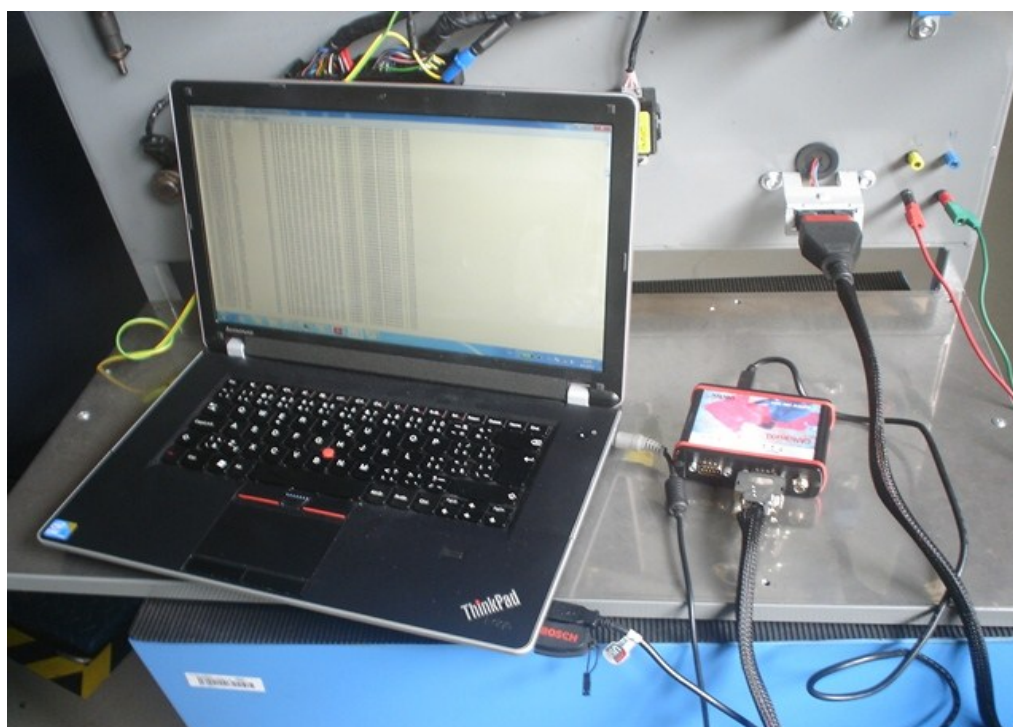


*Obr. 8 – Detail připevněné spínací skříňky plnící úlohy spínače pro zapnutí modelu*





*Obr. 9 – Fotografie z provádění simulace na elektronickém modelu*



*Obr. 10 – Fotografie z provádění analýzy CAN sběrnice pomocí USB/CAN převodníku*